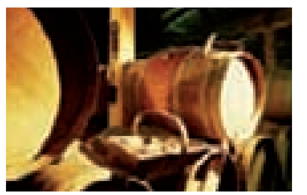


29 et 30 novembre 2006

Compte-rendu technique


ITV France
Centre Technique Interprofessionnel
de la Vigne et du Vin
12, rue Sainte-Anne
75001 Paris
Tél. 33 (0)1 44 69 97 97
Fax 33 (0)1 44 69 97 99

Organisateur : Thierry Coulon
ITV France
39, rue Michel Montaigne
33290 Blanquefort
Tél. 33 (0)5 56 35 58 80
Fax 33 (0)5 56 35 58 88



29 et 30 novembre 2006

est organisé par

ITV France
Centre Technique Interprofessionnel
de la Vigne et du Vin

et

Vinitech
Salon Mondial des Equipements et Techniques
de la Vigne, du Vin et des Spiritueux

dans le cadre de **Vinitech 2006**

Ses organisateurs remercient tous les Organismes et Sociétés qui ont bien voulu apporter leur soutien et leur concours.

- Communauté Urbaine de Bordeaux
- Conseil Général de la Gironde
- Conseil Interprofessionnel des Vins de Bordeaux
- Conseil Régional d'Aquitaine

Les firmes phytosanitaires

- BASF
- BAYER CROPSCIENCE FRANCE
- BELCHIM
- CEREXAGRI
- DOW AGROSCIENCE
- DU PONT DE NEMOURS
- SYNGENTA AGRO

Sommaire

I. Actualités phytosanitaires

II. Stratégie d'entretien des sols : contraintes techniques, économiques et environnementales

III. Comment élaborer des vins répondant aux attentes des consommateurs ?

IV. Évaluation du potentiel aromatique des raisins et des vins

Chapitre I

Actualités phytosanitaires

> Bilan de la campagne phytosanitaire 2006
Jacques GROSMAN

FLASH INFO

> Black Dead Arm :
contaminations estivales démontrées
Bernard MOLOT

> Bois noir :
progression inquiétante dans le vignoble français
Philippe KUNTZMAN

POINT OÏDIUM

> Initiation et développement des épidémies d'oïdium :
les bases biologiques pour optimiser la protection
Philippe CARTOLARO

> La première intervention anti-oïdium : un vrai dilemme ?
Quand et comment raisonner le premier traitement :

- Vignobles méridionaux
  Bernard MOLOT
- Vignobles septentrionaux
  Marie-Laure PANON

ÉVOLUTION DE LA RÉGLEMENTATION

> La mise en œuvre des produits phytosanitaires :
les moyens de s'adapter
Thierry COULON

Bilan phytosanitaire 2006

Jacques GROSMAN - DGAL-SDQPV DRAF-SRPV Rhône-Alpes
Claude MAGNIEN - DRAF DRPV Bourgogne
Isabelle RENAUDIN - DRAF SRPV Pays de Loire
Patrice RETAUD - DRAF SRPV Poitou-Charentes
Jean-Michel TRESPAILLE-BARRAU - DRAF SRPV Languedoc-Roussillon

UN CLIMAT TRÈS CAPRICIEUX

La vigne a dû affronter cette année encore, les caprices climatiques qui se sont traduits par des changements parfois brutaux, au niveau des températures ou des précipitations (fig.1). Finalement, on retrouve des tendances comparables à l'année dernière, avec des différences toutefois.

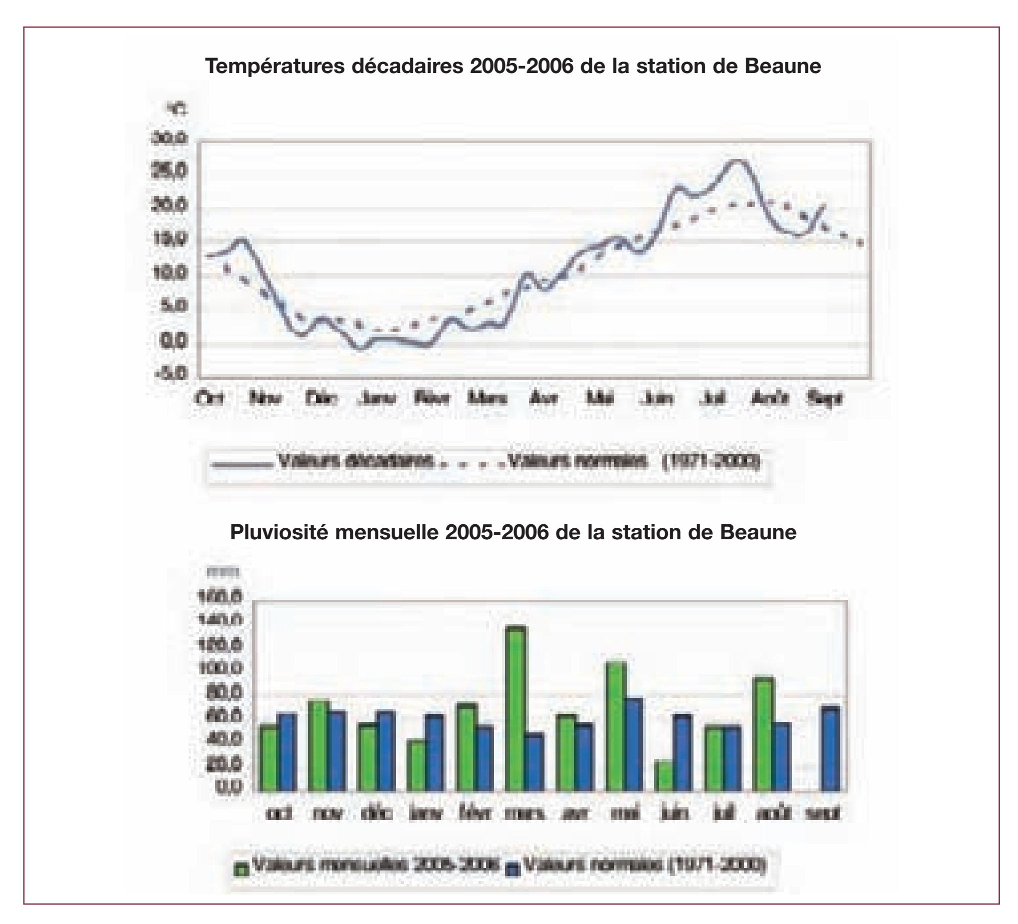


Fig. 1 : Climatologie à Beaune, des écarts importants par rapport aux normales.

Si le début de l'automne 2005 a été chaud dans la plupart des régions, les pluies se sont avérées souvent insuffisantes sauf dans les régions de l'ouest. Le déficit pluviométrique a touché toutes les régions entre novembre et février (-106 mm pour ces 4 mois en Champagne). On peut s'inquiéter de ces déficits hydriques hivernaux, déjà signalés en 2005 entraînant une mauvaise reconstitution des réserves en eau dans les horizons inférieurs. Les pluies de mars ont été abondantes dans certaines régions (2 fois la normale en Pays de Loire, 4 fois la normale à Moissac !) mais n'ont généralement pas permis de combler le déficit. Au niveau des températures, l'hiver a été globalement froid : les thermomètres ont chuté brutalement fin novembre (avec des gelées à - 7,5 °C en Bourgogne) et sont souvent restés en deçà des normales jusqu'en mars et même début avril dans l'Est. Conséquence directe : un retard au débourrement relativement important, jusqu'à 9 jours signalés en Pays de Loire et Franche-Comté.

Le début du printemps est marqué par un mois d'avril plutôt sec (sauf le nord de la Bourgogne excédentaire en pluies) et des températures fraîches. Les déficits s'accentuent surtout dans les vignobles du Sud avec un record historique de déficit en avril et mai en PACA. Par contre, au nord et à l'ouest, les cumuls des pluies du mois de mai redeviennent importants, parfois avec des épisodes orageux intenses (113 mm dans la Côte des Bars) et avec des températures très contrastées.

La fin du printemps et le début de l'été se caractérisent par une remontée très nette des températures et un fort déficit hydrique. Les températures du mois de Juillet sont très souvent supérieures aux normales (+ 5 °C en Midi-Pyrénées, + 6 °C dans l'est, + 7 °C en PACA, etc.). La vigne rattrape rapidement son retard dans tous les vignobles et la floraison a lieu à une date correspondant à la normale. La vigne ne semble pas souffrir de cette situation quasi-caniculaire faisant suite à au manque d'eau du Printemps. La mortalité est cependant importante dans les plantiers. En juillet, des orages éclatent dans toutes les régions mais avec de fortes variations locales. Des épisodes de grêle sont signalés et provoquent localement des pertes de récoltes significatives : 80 % en vallée de la Marne.

Le mois d'août est généralement signalé comme frais et pluvieux. Les températures sont inférieures de 2 à 4 °C par rapport aux normales, ce qui a pour effet de retarder la maturité des raisins de 4 à 7 jours. Seule la Charente garde de l'avance. De belles journées en septembre laissent espérer une vendange de qualité, sauf dégradations dues aux orages.

UN OÏDIUM INSIDIEUX

L'oïdium a évolué de façon très différente d'une région à l'autre. Les premiers symptômes sur feuille ont pu apparaître dès fin avril en Aquitaine mais pas avant fin juin en Alsace et début Juillet dans le Diois où les symptômes sont apparus directement sur grappe. Ensuite, la progression de la pression de la maladie a été très variable en fonction des conditions climatiques. Le démarrage a été brutal en PACA, mais la pression est restée faible, et en Languedoc-Roussillon où le contrôle de la maladie a été plus difficile. Dans les autres régions, et notamment dans les vignobles de l'est, le démarrage a été plus lent et les premiers symptômes ont été souvent discrets. La faible progression est due à des températures basses jusqu'à la floraison. La maladie a pu se prolonger tard en saison dans certaines régions et la protection maintenue après fermeture de la grappe.

L'oïdium a été dans l'ensemble bien contenu pour des raisons diverses : maintien d'une protection anti-mildiou (Midi-Pyrénées), surprotection par démarrage précoce (Champagne), mais aussi amélioration de la qualité de la pulvérisation et meilleure stratégie de protection. Finalement les dégâts sont observés souvent dans les secteurs historiques où le début de la protection a été trop tardif et /ou la qualité de pulvérisation a été mauvaise. Le non-respect des rythmes de renouvellement, comme en Languedoc-Roussillon où la lutte anti-mildiou s'est relâchée, a été à l'origine de nombreux échecs.

Mais c'est en Charente que la situation a été la plus préoccupante et où la maîtrise a été la plus difficile, entraînant des dégâts importants sur certaines parcelles. En effet, la maladie a souvent été décelée très tard, les rythmes de renouvellement étaient trop lents et une face sur deux était correctement protégée.

Le mildiou : une agressivité très fluctuante selon les régions

Le fait marquant de 2006 est sans nul doute l'extrême diversité de pression de la maladie.

Dans les vignobles du pourtour méditerranéen, le mildiou a été le plus souvent très peu actif. Il est resté quasiment absent jusqu'à fin juillet. En août, à la faveur de quelques pluies il a fait une timide apparition sur les jeunes feuilles des extrémités. Dans ces différents secteurs, une seule intervention, un traitement de couverture cuprique, a été conseillée dans les Avertissements Agricoles®. En Provence, 2006 est présentée comme étant l'année où la pression a été la plus faible jamais observée. Dans quelques zones (Pyrénées Orientales, localement Gard et Nord Vaucluse), des sorties de taches se sont produites plus tôt en campagne sans constituer un réel danger pour le vignoble.

A contrario, le mildiou fut très agressif **dans les vignobles de la façade Atlantique.** En Aquitaine, 2006 est comparée à 2000 qui constitue une des références hautes en matière de mildiou (fig. 2). Les premières taches apparurent aux alentours du 10 mai. Les pluies répétées, en entraînant

de nombreuses contaminations et en perturbant la réalisation des traitements conduisirent à une situation critique fin mai. Localement, les attaques de rot-gris étaient importantes (dans le Gers sur Cabernet Franc, le Gaillacois, le vignoble de Jurançon). Après une brève accalmie, l'épidémie fut relancée par les précipitations orageuses de fin juin et la pression s'est maintenue ensuite jusqu'aux vendanges. Quelques attaques sévères de rot-brun sont signalées notamment dans le Gers. En fin de saison, la progression du mildiou sur jeunes feuilles voire vieilles feuilles est fréquente. Localement, ces attaques entraînèrent des défoliaisons plus ou moins marquées (10 % des parcelles en Muscadet) avec d'éventuelles répercussions sur la maturité. Dans les situations les plus exposées 9 à 10 traitements voire plus ont été appliqués. Sur l'ensemble de ces vignobles les pertes imputables au mildiou sont négligeables mais, à l'échelle parcellaire, elles sont parfois importantes.

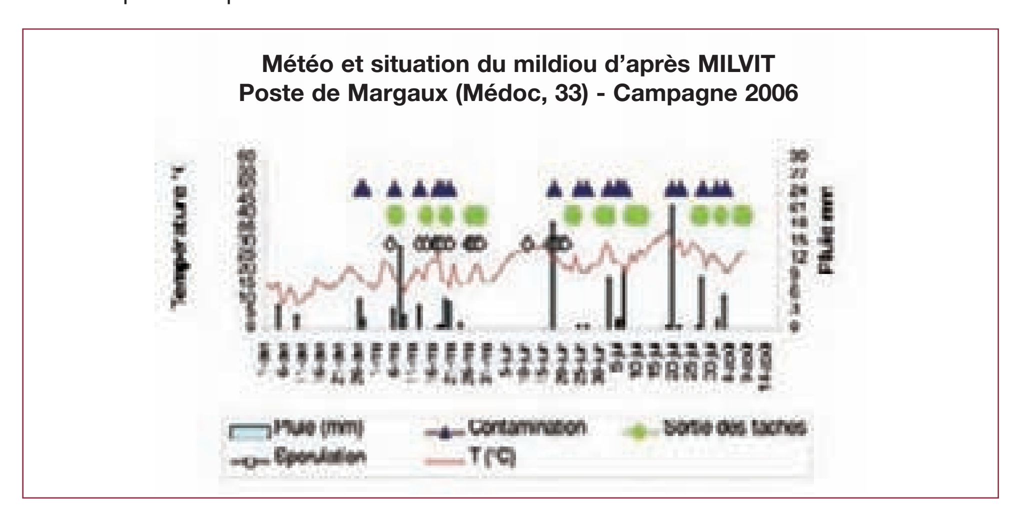


Fig. 2 : Le mildiou en Aquitaine, une année à forte pression.

Dans le vignoble du Nord-Est de la France, la virulence du mildiou fut très contrastée selon les secteurs. Le démarrage de l'épidémie a été fulgurant en Alsace, dans l'Aube pour la Champagne et en Côte de Beaune et Chalonnais pour la Bourgogne. Début juin, la situation était dégradée dans certaines parcelles avec une forte présence de la maladie sur feuilles. Un fait particulier mérite d'être relevé. Localement dans l'Aube, des précipitations importantes (50 à 100 mm) ont engendré d'intenses contaminations primaires à l'origine de foyers parcellaires majeurs (5 à plus de 50 taches par cep). Ce phénomène a déjà été observé en Champagne ; il interpelle sur le positionnement du premier traitement, mais comment anticiper et prévoir ce type d'événement qui est très ponctuel ? L'arrivée d'un temps sec à partir de début juin aida à rétablir une situation parfois critique. Les orages locaux de juillet et les pluies répétées d'août réactivèrent le mildiou. Sa présence sur jeunes feuilles était fréquente début septembre et des attaques plus généralisées du feuillage avec chutes de feuilles étaient constatées notamment en Côte d'Or et Saône et Loire.

Reste à évoquer rapidement **les vignobles du Val de Loire,** du Sancerrois à l'Anjou auxquels peut être ajouté le Chablisien. Dans ces régions le mildiou se manifesta très peu, uniquement sous forme de taches éparses et dès la nouaison des allongements des intervalles entre traitements étaient possibles. Aucun dégât sur grappes ne fut à déplorer et la situation était très saine y compris à la récolte.

En 2006, **la surveillance de la résistance du mildiou** à différentes molécules a été poursuivie. Elle a concerné en tout premier lieu *le diméthomorphe et l'iprovalicarbe*. Les résultats ne sont pas disponibles. Les résultats de 2005 avaient confirmé l'existence de populations de mildiou (9 sur les 66 étudiées) résistant simultanément à ces deux molécules. 8 ont été trouvées essentiellement dans deux vignobles, le Gers et la Provence qui semblent assez fortement touchés par ce phénomène. Cependant, la découverte d'un neuvième cas en Alsace suggère que de telles populations pourraient exister de façon marginale dans d'autres vignobles. Cette hypothèse est renforcée par le fait que des populations pouvant contenir de faibles proportions de souches résistantes à l'une ou à l'autre des molécules (voire aux deux) sont suspectées dans différentes autres régions (Bourgogne, Aquitaine et Charentes).

BLACK-ROT : RETOUR EN FORCE DANS L'OUEST

La pression exercée par le champignon est jugée moyenne à forte sur tous les vignobles de la façade Atlantique excepté celui des Charentes où elle est qualifiée de faible. Des dégâts significatifs ont été observés dans différentes parcelles courant juillet. A titre d'exemple au nord de la zone, dans les vignobles du Muscadet et des coteaux du Loir, la maladie était présente dans la majorité des parcelles et, dans 5 % d'entre elles, l'intensité d'attaque sur grappes était comprise entre 10 et 75 %. Dans les autres vignobles notamment du Centre et du quart Nord Est où le champignon est signalé en l'état endémique, la maladie a été très discrète.

ROUGEOT PARASITAIRE ET EXCORIOSE : DES MALADIES TRÈS SECONDAIRES

En ce qui concerne le rougeot parasitaire, une présence de symptômes de faible intensité n'est plus signalée que très ponctuellement en Alsace, en Champagne (Aube) et dans le Jura. En régression en Bourgogne depuis plusieurs années, aucune tache n'a été repérée en 2006. Quant à l'excoriose, seul le Jura signale des difficultés de maîtrise de cette maladie dues à des conditions favorables (pluie en période réceptive).

UN BOTRYTIS EXPLOSIF EN FIN DE SAISON

En 2006, le botrytis sur grappes est apparu en moyenne fin-juillet à début août dans la plupart des régions suite à une reprise de pluies plus ou moins orageuses. Les symptômes les plus précoces sont apparus en Midi-Pyrénées début juillet et les plus tardifs en Lorraine à la mi-septembre. Ce sont les vignobles de la façade atlantique : Aquitaine, Pays de la Loire et Poitou-Charentes qui présentent les plus forts taux d'attaque (avec 50 à 60 % en fréquence d'attaque et environ 15 % d'intensité d'attaque), les vignobles méditerranéens restant comme souvent les moins atteints.

La situation botrytis est ainsi, comme d'habitude, très disparate selon les régions et cela principalement grâce aux différences de pluviométrie. Ainsi, dans la plupart des régions, ce sont les pluies d'août qui ont permis l'installation ou la reprise des premiers foyers sérieux sur grappes. Dans l'ensemble, nous avons, en 2006, le développement d'un botrytis de fin de saison dans la majorité des vignobles qui a parfois même explosé à la faveur des pluies de mi- à fin septembre.

En 2006, la pression du botrytis est ainsi supérieure à largement supérieure à 2005 sur la majorité des vignobles.
Cette dégradation, parfois très importante et rapide en fin de saison, a pu conduire à avancer la date de récolte, la qualité de celle-ci étant compromise. Dans ces conditions, les mesures prophylactiques accompagnées de traitements anti-botrytis correctement appliqués ont montré leur différence et permis de garantir une récolte plus saine.

Il est à noter que, grâce aux conditions climatiques de septembre particulièrement douces et accompagnées de forts cumuls de pluies sur de courtes durées localement, le développement de nombreuses autres pourritures (pénicillium notamment) qui pourront entraîner des dérives organoleptiques (goûts de type moisis-terreux).

Mais surtout, c'est le développement relativement important et rapide de pourriture acide qui est à mentionner cette année sur plus de la moitié des vignobles français.
Après 3 années de calme, le millésime 2006 se caractérise donc par le retour des pourritures sur grappe.

Sur le front des résistances, les résultats 2006 des monitorings SRPV et INRA ne sont pas encore disponibles. Sur 2005, à part la famille des Pyridinamines (fluazinam) sur laquelle aucune résistance n'a été actuellement détectée, et le boscalid (non encore suivi), toutes les autres familles chimiques sont concernées. Bien sûr les niveaux de résistance sont variables d'une famille à une autre et d'une région à l'autre. Les souches multirésistantes de type MDR progressent, essentiellement en Champagne. Ces résistances, obtenues au labo, ne se marquent pas par une baisse d'efficacité au champ, mais il faut rester vigilant.

LES MALADIES DU BOIS : UN PEU MOINS PRÉSENTES EN 2006 ?

L'observatoire national des maladies du bois (eutypiose, esca et black dead arm), initié en 2003, a été prolongé pour une durée de 3 ans afin de mieux estimer la progression des maladies et de bénéficier d'un plus grand nombre de données sur l'expression des symptômes. Ces données seront exploitées par une série d'analyses statistiques qui a donné lieu à un mémoire de Master en statistiques appliquées réalisé au SRPV Alsace avec l'appui de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg et l'INRA de Bordeaux. L'étude devrait permettre de dégager d'éventuels facteurs pour expliquer des différences de niveaux d'expression constatés entre les parcelles. Elle permettra de comparer notamment le niveau d'expression des maladies en fonction du passé « arsénite de soude ». Sur l'évolution des symptômes en 2006, les premiers résultats laissent entrevoir un léger recul des maladies avec, comme les années précédentes, des différences entre régions et cépages.

JAUNISSES : MAINTENIR LA VIGILANCE

La flavescence dorée est présente dans les vignobles d'Aquitaine, des Charentes, de Midi-Pyrénées, du Languedoc-Roussillon, de Provence-Alpes-Côte d'Azur, des Pays de Loire, de Rhône-Alpes et de Corse. Dans ces régions, la cicadelle *Scaphoideus titanus,* vecteur de la maladie, est potentiellement présente avec des effectifs très variables. En Alsace, Lorraine et Champagne, le vecteur n'a pas été détecté. Par contre, en Bourgogne, Franche Comté et Centre, le vecteur est présent. La maladie est absente des vignobles septentrionaux. En 2004 et 2005, quelques souches contaminées ont été découvertes localement en Bourgogne et Champagne. Ces souches ont été détruites et des arrêtés de lutte mis en place. On peut supposer l'introduction par les plants. Une enquête sur l'origine des plants, qui a pu être menée grâce à une collaboration active entre les services de l'Etat et les pépiniéristes ont permis d'orienter la prospection vers les jeunes vignes. La découverte de ces foyers dans des régions non infectées a permis d'aboutir à un accord entre viticulteurs et pépiniéristes pour aller vers une généralisation du traitement à l'eau chaude. En 2006, à la faveur de 3 machines opérationnelles, une part non négligeable des plantations de 2006 de Bourgogne a pu se faire avec des plants traités.

On peut aussi rappeler les dernières évolutions en France dans la lutte insecticide obligatoire contre la cicadelle de la flavescence dorée. Dans les secteurs où la maladie est aujourd'hui maîtrisée, des résultats d'expérimentations au vignoble ont montré que des aménagements étaient possibles avec le passage sous certaines conditions de 3 à 2 traitements insecticides en viticulture conventionnelle. Des résultats expérimentaux, engagés en 2005 dans des secteurs pilotes ont évalué l'impact des traitements sur des populations d'adultes. Ils ont permis une évolution des préconisations vers un seul traitement obligatoire.

Ces assouplissements permettent de concilier le nécessaire développement d'une viticulture durable, respectueuse de la santé des hommes et de l'environnement et la sécurité phytosanitaire du vignoble.

Ainsi en 2006, les arrêtés préfectoraux ont concerné une trentaine de départements viticoles pour 2241 communes en lutte obligatoire représentant 94 communes à 1 traitement obligatoire, 338 communes à 2 traitements obligatoires et 1809 à 3 traitements obligatoires. Enfin 58 communes sont considérées comme assainies en 2006. L'aménagement de la lutte touche à présent 92 000 hectares, soit 22 % du vignoble en lutte obligatoire. Néanmoins, dans certains secteurs, la maladie progresse, par manque de rigueur dans la protection.

En ce qui concerne le bois noir, la plupart des régions signalent la progression de cette maladie à phytoplasme avec des attaques parfois sévères sur certaines parcelles. Le bois noir est en passe de devenir un problème phytosanitaire majeur pour le vignoble.

RAVAGEURS DE LA VIGNE : UNE ANNÉE PLUTÔT CALME

L'Eudémis progresse au nord mais régresse au sud

En 2006, l'Eudémis est en augmentation dans les vignobles septentrionaux. En Champagne, elle ne progresse pas sur un front homogène mais de façon dispersée sur la Grande Montagne de Reims ou sur la Montagne Ouest. En Bourgogne, après une quasi-disparition depuis une dizaine d'années, l'Eudémis se développe à nouveau depuis deux ou trois ans. Dans le Jura, elle est en expansion vers le centre et le nord du vignoble. Dans le Haut-Rhin, une activité de ponte importante est constatée lors de la seconde génération. En Anjou, l'Eudémis est aussi en progression sur certains secteurs.

Par contre, dans la plupart des vignobles du sud, les Tordeuses ont tendance à régresser depuis 2003. Les périodes de canicule, et de faibles hygrométries, sont souvent évoquées comme hypothèse pour expliquer la diminution des populations larvaires. Signalons aussi que, pour le premier vol en 2006, les conditions souvent fraîches, pluvieuses et ventées du mois de mai ne sont pas favorables au bon fonctionnement des pièges. Les Tordeuses régressent en Provence, en Rhône-Alpes, en Charentes,… En Aquitaine, la situation est hétérogène : progression de la Cochylis dans le Blayais, une tendance à la diminution de l'Eudémis bien que des dégâts plus importants soient constatés sur le secteur de Margaux ou le Sauternais.

En Midi-Pyrénées, la pression de l'Eudémis est inférieure à 2005 mais, sur le vignoble de Gaillac, ce ravageur est bien présent sur trois générations. A tel point qu'en 2006, les traitements sont conseillés dès la première génération dans le secteur de Gaillac et ponctuellement sur Fronton et Cahors.

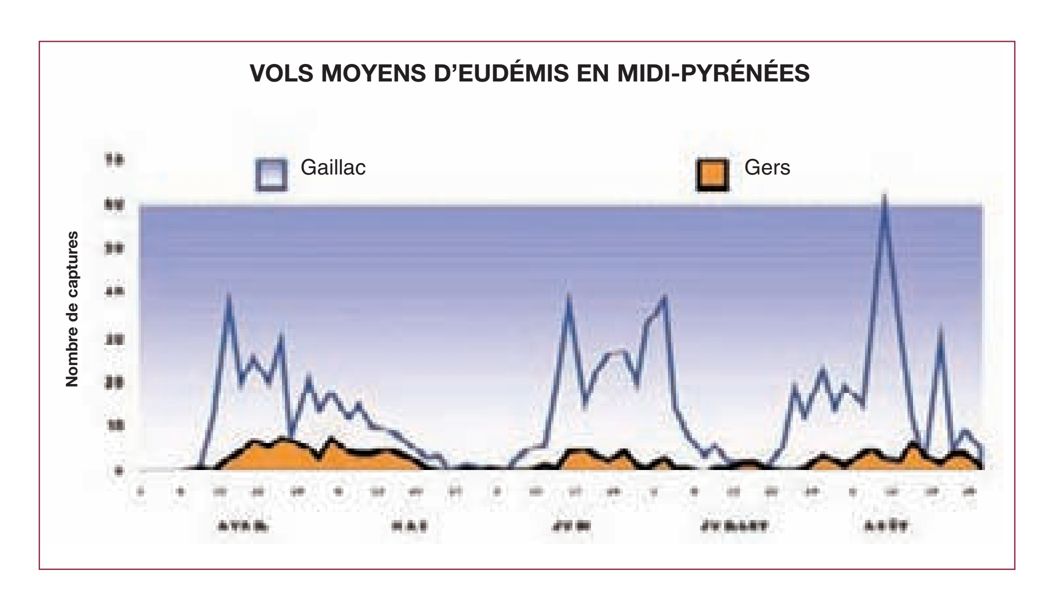


Fig. 3 : Piégeage des tordeuses en Midi-Pyrénées.

Parallèlement à ces variations géographiques, des modifications se produisent parfois au niveau des courbes de vol. Les trois vols sont bien séparés dans les vignobles du sud ; en Anjou, au contraire, les première et seconde générations se superposent partiellement. En Charente, dans les années 90, l'activité de l'Eudémis était continue en été, mais, depuis 2003, les trois vols s'individualisent (fig. 4). D'autre part, au moment de la floraison de l'Ugni blanc en juin, la fin du premier vol est devenue beaucoup plus active que le début.

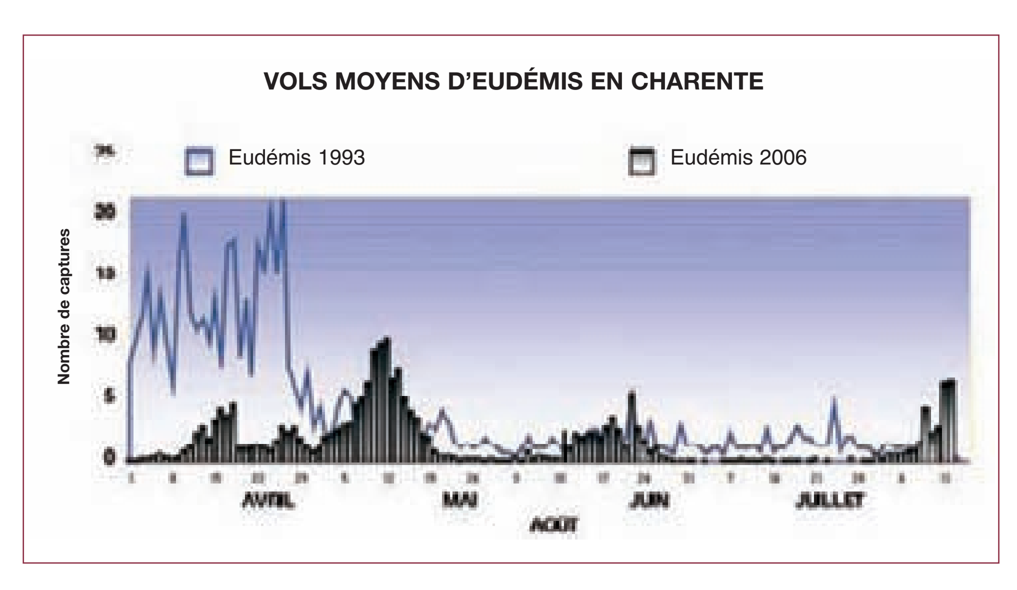


Fig. 4 : Évolution des courbes de vol d'Eudemis en Charente.

La réussite de la lutte contre les Tordeuses (quand elle est nécessaire) est souvent compromise car beaucoup de viticulteurs appliquent les insecticides sur l'ensemble de la végétation (interventions simultanées maladies-ravageurs) et souvent que sur une face de rang sur deux. Dans les vignobles du sud de la France concernés par la flavescence dorée, la protection contre les Tordeuses est souvent conjointe avec la lutte contre la cicadelle vectrice.

LES CICADELLES DES GRILLURES PLUTÔT DISCRÈTES EN 2006

Les populations de Cicadelle des grillures sont très hétérogènes d'une parcelle à l'autre. Globalement en 2006, les populations sont plutôt faibles dans tous les vignobles : peu de parcelles nécessitent des traitements spécifiques. D'autre part, le mois d'août frais et pluvieux est défavorable à l'expression des dégâts. Quelques grillures sont toutefois signalées dans les vignobles de Cahors, de Sancerre ou de Touraine. La lutte contre ce ravageur est associée avec celles qui sont pratiquées contre les Tordeuses ou la cicadelle vectrice de la flavescence dorée.

METCALFA PROGRESSE VERS LE NORD

Le flatide pruineux est en extension dans les vignobles de Rhône-Alpes, de Midi-Pyrénées, dans le Tarn-et-Garonne (Brulhois, Moissac) et sur le Fronton. En Aquitaine, il progresse le long de la Dordogne et de la Garonne. En Provence, où il avance vers le nord et l'ouest, quelques dégâts sur des productions de raisins de table sont signalés. Les traitements spécifiques contre ce ravageur ne sont généralement pas justifiés : seules quelques rares parcelles sont traitées en 2006.

LES ACARIENS PHYTOPHAGES SONT DISCRETS,... SAUF L'ERINOSE

Les Typhlodromes sont en action, on ne parle pratiquement plus des acariens rouges. On trouve quelques acariens jaunes dans les vignobles de Cahors, de Die, de Moissac où quelques rares interventions spécifiques sont pratiquées. Quant à l'Acariose, elle est présente de façon sporadique dans la plupart des vignobles sur les jeunes vignes : quelques traitements sont parfois nécessaires.

Au contraire, l'Erinose est augmentation. En Anjou, dans quelques parcelles, des attaques importantes sur feuilles et sur grappes provoquent des défauts de floraison en juin. En Charentes, au cours du mois de juillet, une importante sortie s'est produite sur les jeunes feuilles des entrecœurs. En Aquitaine, en Bourgogne ou en Provence, des dégâts de printemps ou d'été, plus spectaculaires que préjudiciables, sont également signalés.

DES RAVAGEURS PLUS OCCASIONNELS

Les mange-bourgeons ne provoquent que peu de dégâts lors de cette campagne. Dans les vignobles du Diois, du Pays nantais, d'Anjou ou de Bourgogne, 10 à 20 % des parcelles présentent des attaques limitées ne nécessitant pas de lutte spécifique. En Champagne, les bourgeons détruits sont nettement moins nombreux qu'en 2005 mais 1 à 2 % des parcelles atteignent le seuil d'intervention de 10 à 15 % de ceps avec des bourgeons rongés.

Les cochenilles sont présentes dans pratiquement tous les vignobles. Elles ne font que rarement l'objet de traitements spécifiques. En Charentes, on assiste à une progression significative de ces ravageurs depuis quelques années, autant à l'intérieur qu'à l'extérieur du périmètre de lutte obligatoire contre la Flavescence. Pour maîtriser les cochenilles, les viticulteurs ajustent le choix des insecticides utilisés contre les Tordeuses ou la cicadelle de la flavescence dorée.

La Pyrale est surtout signalée en Bourgogne où quelques parcelles approchent le seuil d'intervention (80… des ceps occupés). Elle est observée dans d'autres vignobles (Pays nantais, Anjou, Charente…) où aucune intervention n'est justifiée.

En 2006, l'Eulia est toujours bien présente sur Midi-Pyrénées. Sur le vignoble de Moissac, la première génération est importante, tandis que les seconde et troisième générations sont restées équivalentes à celles de 2005. Les traitements sont couplés avec la lutte contre l'Eudémis et aucun dégât grave n'est constaté.

Les Cigariers se sont fait remarquer en Pays nantais : 720 cigares pour 100 ceps observés au 15 mai à Gorges, où ils provoquent un retard de végétation. Ailleurs, il s'agit d'une curiosité.

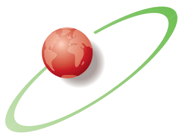
Les thrips sont présents dans la plupart de vignobles : des dégâts sont uniquement signalés sur des raisins de table en Midi-Pyrénées.

Le phylloxera est toujours observé sporadiquement : galles sur feuilles, parfois sur parcelle greffée, avec, très rarement, blocage de la croissance.

Pour les ravageurs, signalons enfin qu'en 2006, les dégâts de criquets et de sauterelles sont modérés et moins importants qu'en 2005.

En conclusion, la campagne 2006 est marquée par une bonne maîtrise de la situation phytosanitaire du vignoble, malgré des situations locales parfois délicates. On peut sûrement mettre en avant le raisonnement et une amélioration de la qualité de pulvérisation mais l'appréciation de la situation à la parcelle reste souvent difficile notamment en ce qui concerne l'oïdium. Mais les sujets de préoccupation concernent les maladies du bois (malgré un certain ralentissement) et le bois noir qui progresse de façon inquiétante.

Rédigé à l'aide des données communiquées par les agents des SRPV et des FREDON.



Black Dead Arm, de nouvelles pistes

Bernard MOLOT[1], **Philippe LARIGNON**[1] et **M. COARER**[2] :
[1]ITV France - Domaine de Donadille - 30230 RODILHAN
[2]ITV France - Château de la Frémoire - 44120 VERTOU

INTRODUCTION

De nombreux travaux sont actuellement conduits pour tenter de déterminer les époques et conditions favorables à la contamination de la vigne par les champignons du genre Botryosphaeria, agents associés au Black Dead Arm (BDA) ainsi que les voies de pénétration autres que les plaies de taille. Certains résultats préliminaires, provenant notamment de l'étude de la sporée, mènent à penser que la contamination ne se limite pas à la seule période hivernale.

Des observations réalisées sur un échantillon, transmis pour diagnostic, nous ont permis de conforter cette hypothèse.

CARACTÉRISTIQUES DE L'ÉCHANTILLON

Il s'agit de sarments de Muscat à petits grains reçus en mars 2006, en provenance du vignoble de Die (Drôme), porteurs de lésions corticales qui ont alerté le propriétaire lors de la taille. Ces lésions proviennent de plaies occasionnées par l'enlèvement - au sécateur dans ce cas précis - des entre-cœurs (rebiochage ou épionçage selon les appellations régionales) en juillet 2005.

Ces lésions (photos 1 et 2) sont de forme longitudinale, situées à la base du moignon de l'entre-cœur sectionné et s'étendent préférentiellement vers la base du rameau.





Photos 1 et 2 : Disposition et aspect des nécroses sans blanchiment de l 'écorce

Elles sont toutes délimitées par un cerne périphérique noir et la majorité d'entre elles présentent des pycnides noires, d'autant plus visibles que les écorces sont souvent blanchies (photo 3).



Photo 3 : Présence de pycnides sur écorces blanches

Ces symptômes sont proches de ceux pouvant être causés par l'excoriose mais ils en diffèrent toutefois par leur localisation exclusive à la base des entre-cœurs, l'empattement des rameaux restant par ailleurs parfaitement normal et l'extrémité des rameaux ne présentant aucun blanchiment.

Après mise en chambre humide, ces pycnides ont émis des cirrhes dont la couleur noire excluait toute possibilité d'excoriose. Devant ce constat les cirrhes ont été mis en culture sur milieu malt-agar.

Après « épluchage » tous les rameaux présentent une nécrose brune, partant de la base de l'entre-cœur et descendant sur 5 à parfois 20 cm (photos 4 et 5).




Photos 4 et 5 : Aspect des nécroses après enlèvement de l'écorce

Après désinfection superficielle à l'hypochlorite de calcium, des fragments de bois ont été également mis en culture sur milieu malt-agar.

Après une dizaine de jours un mycélium noir (photo 6) recouvre l'ensemble des boîtes, provenant aussi bien des pycnides que des fragments de bois.



Photo 6 : Aspect des colonies

Ce mycélium noir confirme bien l'absence d'excoriose et indique la présence d'un Botryosphaeria, l'espèce n'étant pas formellement identifiable à ce stade du fait de l'absence totale de spores. Après plusieurs semaines de culture l'absence de spores s'est malheureusement maintenue et les échantillons ont donc été expédiés au laboratoire de biologie moléculaire de l'unité ITV France de Nantes aux fins d'identification.

Après amplification ITS et restriction enzymatique par HinfI et TaqI deux espèces possibles subsistaient : Botryosphaeria stevensii ou Botryosphaeria lutea. Une deuxième amplification avec restriction par l'enzyme DdeI a permis d'identifier B. lutea.

COMMENTAIRES/DISCUSSION

Cette présence de *B. lutea* sur vigne est la première signalée en France. Sa localisation dans des nécroses dues à des plaies faites en juillet indique que des contaminations estivales par les *Botryosphaeria* sont vraisemblablement possibles. La démonstration rigoureuse de la causalité implique toutefois, conformément au postulat de Koch, de parvenir à reproduire ces symptômes par une inoculation artificielle, ce qui n'est pas encore le cas du fait de la difficulté à obtenir in vitro des fructifications de *B. lutea*. Des essais de contamination artificielle à partir de mycélium sont en cours.

Nous ne pouvons donc avancer, en toute rigueur, que de très fortes présomptions dont les retombées pratiques sont *a priori* assez claires.

En effet parmi toutes les lésions observées, bon nombre d'entre elles ont une longueur de quelque 20 cm, ce qui permet à celles provenant des entre-cœurs les plus bas de coloniser le bois qui sera laissé après une taille courte (photo 7), possibilité encore plus évidente dans le cas d'une taille longue de type Guyot. Le bras (taille courte) ou le tronc (taille Guyot) pourraient ainsi être colonisés dès l'année suivant la contamination.



Photo 7 : Une taille à 2 voire 1 bourgeon(s) n'élimine pas les tissus contaminés

Cette possibilité de contamination estivale amène également à se poser la question de la réceptivité des plaies causées par l'épamprage, l'ébourgeonnage, l'effeuillage, ainsi que par l'éclaircissage manuel. Les plaies dues à l'écimage semblent a priori moins favorables de par leur éloignement de la zone de taille, mais constituent au moins une source d'inoculum si les sarments sont laissés au sol.

Les pistes de recherche sont donc multiples et ne font que souligner le manque de connaissances sur le BDA en particulier et sur les champignons responsables des maladies du bois en général :

- conditions météorologiques propices ?
- durée de réceptivité de ces plaies ?
- rôle éventuel des fongicides anti-mildiou ou anti-oïdium utilisés en saison ?
- incidences des bois de taille laissés au sol ?
- incidence du broyage ou non de ces bois ?

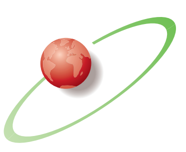
CONCLUSION

L'identification en France de Botryosphaeria lutea à la surface et à l'intérieur de lésions provenant de la suppression d'entre-cœurs en juillet, est un élément nouveau en soi mais qui laisse surtout présager de sérieuses possibilités de contamination estivale par ce parasite ou les Botryosphaeria en général. Cette voie de contamination n'a toutefois pas été scientifiquement démontrée, les symptômes n'ayant pas encore été artificiellement reproduits.

Ce n'est donc plus la « simple » protection des seules plaies de taille qu'il convient d'envisager mais bel et bien celle également des blessures liées aux opérations en vert en général.

Le champ d'investigation se complexifie donc sérieusement et l'intérêt des méthodes prophylactiques pour la maîtrise des maladies du bois, en l'absence de méthode préventive ou curative, n'en devient que plus évident.

Dans le cas particulier du BDA, il semble bien que l'enlèvement des sarments atteints soit une mesure supplémentaire à adopter, ce qui dans les conditions de la pratique revient à conseiller l'enlèvement pur et simple des bois de taille, sauf à démontrer que broyage ou compostage neutralisent l'inoculum présent.



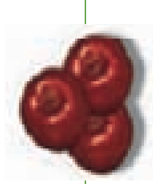


SINGULIER

VOUS AVEZ BEAUCOUP SOUFFERT DE L'OÏDIUM ?







DÉSORMAIS, SOUFREZ TÔT AVEC MICROTHIOL SPECIAL DISPERSS® !

Bien anticiper est aujourd'hui un facteur de succès pour vos récoltes.
Cela passe par une gestion bien affûtée des risques.
En matière de lutte contre l'oïdium, Microthiol Spécial Disperss® a fait ses preuves durant des années d'utilisation sans générer de résistances.
Une expérience et une réussite que d'autres spécialités aimeraient bien pouvoir revendiquer.
Pourquoi prendre des risques ? Utilisez Microthiol Spécial Disperss® dès le démarrage de votre programme anti-oïdium, au stade trois feuilles de la vigne.
Microthiol Spécial Disperss® protège aussi vos cultures de l'acariose, l'érinose et l'excoriose.



MICROTHIOL SPECIAL DISPERSS® LE TRAITEMENT PRÉCOCE QUI FAIT DES MERVEILLES CONTRE L'OÏDIUM.



Pour plus d'informations : contact.cerexagri@cerexagri.com - www.agriculture.total.fr

Cerexagri s.a. ® Marque déposée Cerexagri s.a. - Homologation n°9800245 - Composition 80% de soufre micronisé atomisé
Classement : exempt de classement - Bien lire l'étiquette avant toute utilisation et respecter les précautions d'emploi.



PRODUITS POUR LES PROFESSIONNELS : RESPECTER LES CONDITIONS D'EMPLOI

Bois noir : progression inquiétante de la maladie dans certains vignobles français

L'exemple de l'Alsace : des relations très étroites entre les populations du vecteur Hyalesthes obsoletus et ses plantes hôtes permettent un début d'explication.

Philippe KUNTZMANN
ITV France Colmar - Biopole - 28, rue de Herrlisheim - 68000 COLMAR
Tél. : 03 89 22 49 61 - E-mail : philippe.kuntzmann@itvfrance.com

La maladie du bois noir de la vigne est connue depuis plusieurs décennies dans certains vignobles en France (Alsace, Bourgogne, Jura…) et à l'étranger (Allemagne, Italie), où des périodes avec des manifestations parfois sévères de la maladie sont signalées, alternant avec des périodes plus calmes.

L'agent responsable a été découvert dans les années 1990. Il s'agit d'un phytoplasme, le stolbur des solanacées.

La propagation de la maladie peut se faire par l'intermédiaire de matériel végétal contaminé ou par l'intermédiaire d'insectes vecteurs. La première voie de dissémination citée semble minoritaire par rapport à la seconde.

Le cixiide Hyalesthes obsoletus est le seul vecteur identifié, c'est-à-dire dont le rôle de vection a été démontré de manière expérimentale. D'autres insectes vecteurs potentiels ont été cités, mais leur rôle dans la vection n'a pas été prouvé sur vigne. L'insecte vecteur Hyalesthes obsoletus transmet le phytoplasme à la vigne lors de piqûres accidentelles sur celle-ci. En effet cet insecte n'est pas inféodé à la vigne et ses plantes hôtes sont des plantes de la strate herbacée. Les plantes hôtes classiquement admises sous notre climat sont : *Convolvulus arvensis* (liseron des champs), *Calystegia sepium* (liseron des haies), *Urtica dioïca* (grande ortie ou ortie dioïque), *Lepidium draba, Ranunculus spp., Lavandula sp.*

Les adultes se nourrissent de sève élaborée ou phloème de leurs plantes hôtes en les piquant sur les feuilles ou les tiges. Lors de ces prises d'alimentation ils peuvent inoculer le phytoplasme à une plante initialement saine. Le phytoplasme peut aussi être inoculé à des plantes non-hôtes - comme par exemple la vigne - lors de « piqûres d'essai ». L'inverse peut aussi se produire, c'est à dire que l'insecte peut acquérir le phytoplasme sur une plante hôte malade.

Les stades larvaires de l'insecte se déroulent dans le sol, sur les racines de ses plantes hôtes. Le stade larvaire est aussi le stade auquel le vecteur passe l'Hiver.

Depuis environ 5 à 6 ans, des cas de parcelles parfois significativement atteintes sont signalés dans différents vignobles en France : Alsace mais aussi Jura, Bourgogne, Champagne, Vallée du Rhône, Languedoc-Roussillon.

Des cas similaires sont relatés en Allemagne, en Italie, en Autriche. Des programmes de recherche ont été mis en place afin de caractériser et d'expliquer les situations que rencontrent les différents vignobles concernés.

Des travaux récents effectués en Allemagne et utilisant l'approche moléculaire de l'analyse du polymorphisme de longueur des fragments de restriction de l'ADN non ribosomal, ont mis en évidence trois isolats de stolbur sur vigne et une relation très étroite entre ces isolats, *Hyalesthes obsoletus* et les plantes hôtes sur lesquelles *Hyalesthes obsoletus* est capturé :

- le type I a été isolé dans Vitis vinifera, *Urtica dioica* et *Hyalesthes obsoletus* capturé sur *Urtica dioica* et *Calystegia sepium,*
- le type II a été isolé dans *Vitis vinifera*, *Convolvulus arvensis, Solanum nigrum, Prunus spinosa* et *Hyalesthes obsoletus* capturé sur *Convolvulus arvensis* et *Calystegia sepium,*
- le type III a été isolé dans *Vitis vinifera, Calystegia sepium* et *Hyalesthes obsoletus* capturé sur *Calystegia sepium* dans un vignoble de la Moselle allemande.

Nous allons vous présenter quelques résultats des travaux réalisés en Alsace pour cette première année d'expérimentation sur le sujet.

Les travaux, basés sur la constitution d'un réseau de parcelles expérimentales qui sera suivi à long terme, ont été conduits selon différents axes de recherche qui comprennent :

- l'étude de la présence du vecteur et de sa relation avec les plantes hôtes,
- le suivi du vol,
- l'influence des techniques culturales sur la présence du vecteur et son vol,
- l'évaluation du taux de contamination des populations de Hyalesthes obsoletus par le phytoplasme du stolbur,
- l'évaluation de l'expression de la maladie dans les parcelles suivies,
- le typage du phytoplasme sur Vitis vinifera, Hyalesthes obsoletus et plantes hôtes,
- l'étude du risque de propagation par le matériel végétal.

Certaines données sont en cours d'acquisition, c'est pourquoi tous les points ne seront pas abordés dans le développement qui suit. Le secteur principal d'étude se situe sur la commune de Turckheim, dans le Haut Rhin. Il s'agit d'un ensemble de coteaux exposés au sud - sud/est à sud/ouest, sur sol d'arène granitique.

PRÉSENCE DU VECTEUR ET SUIVI DE SON VOL

Les observations que nous avons faites ont permis de vérifier la présence du vecteur *Hyalesthes obsoletus* au stade adulte, mais surtout aussi au stade larvaire, en des points répartis sur l'ensemble du vignoble en Alsace.

Que ce soit dans les parcelles de vigne, ou en bordure des vignobles sur les talus, murs et fossés, nous avons observé les larves et aussi les adultes exclusivement sur *Urtica dioica*, bien qu'il nous ait été possible d'observer aussi des adultes sur des plantes non hôtes comme *Chenopodium album* et *Robinia pseudacacia*, à proximité de foyers sur *Urtica dioica.*

Les figures 1 et 2 représentent pour la zone principale d'étude autour de Turckheim les points d'observation sur *Urtica dioica* et indiquent la présence de *Hyalesthes obsoletus* au stade larvaire au tout début du vol, ou au stade adulte vers la fin du vol. Le vecteur est bien présent aux deux dates mais on remarque une présence bien plus large lors de la deuxième observation, que lors de la première, avec des niveaux de population plus élevés pour la plupart des points.

Le vol de l'insecte vecteur a été suivi par capture sur des pièges jaunes englués posés entre 18 et 33 cm de hauteur. Pour le secteur de Turckheim ce sont ainsi 87 pièges qui ont été suivis, dont les relevés ont été effectués une fois par semaine. Le vol sur ce secteur s'est étalé sur 7 semaines, démarrant la semaine 25 (semaine du 19 juin) et durant jusqu'à la semaine 32 (semaine du 7 août). Le pic de vol est atteint très rapidement, au courant de la semaine 27 (figure 3). La phase descendante du vol est un peu moins accentuée, marquée par des captures faibles les 3 dernières semaines du vol.

Cependant pour les différentes parcelles les captures entre pièges ne sont pas égales et l'étude de la relation entre l'environnement immédiat du piège en terme de plantes hôtes apporte des renseignements supplémentaires.

INFLUENCE DES PLANTES HÔTES SUR LES CAPTURES DU VECTEUR

Comme le montre la figure 4, on distingue 3 groupes de parcelles :

- des parcelles avec plus de 50 captures en moyenne par piège et avec un écart important entre le piège ayant le moins capturé et celui ayant le plus capturé : parcelles KMRi, DR et FQ,
- des parcelles avec de 20 à 50 captures en moyenne par piège, et un écart parfois très important entre le mini et le maxi (parcelle BE) : parcelles BE, RG et RD,
- des parcelles avec moins de 20 captures en moyenne par piège : parcelles D, C, HS et KMaux.

Les parcelles les plus fréquentées par le vecteur sont en fait des parcelles où l'ortie est présente, à coté d'autres adventices : parcelles BE, RG, DR et surtout KMRi. Cependant la parcelle FQ ne présente aucune ortie, mais est fortement infestée de liseron des champs.

La figure 5 montre l'influence de la présence de plantes hôtes à proximité du piège (rayon de 2 m) sur la quantité d'insectes capturés. Les pièges installés à proximité d'orties capturent environ 2 fois plus qu'en l'absence de plantes hôtes. L'écart est encore plus important dans le cas du liseron, pour lequel les pièges capturent 3 fois plus qu'en l'absence de plantes hôtes. Mais il s'agit dans ce cas de valeurs obtenues sur une seule parcelle et avec seulement 8 pièges.

Ainsi, malgré ce qui est constaté pour certaines parcelles où l'ortie est absente (parcelle FQ), voire dans lesquelles il n'y a aucun enherbement (parcelle RD conduite en désherbage intégral de prélevée+ postlevée), on peut estimer que l'éradication de l'ortie devrait permettre d'abaisser le niveau de population de *Hyalesthes obsoletus* de 50 % au moins dans certaines parcelles, en supprimant certains foyers à l'intérieur de ces parcelles. Cette mesure, même si elle contribue aussi à supprimer des réservoirs du phytoplasme, ne sera pas suffisante, car il y a très certainement des mouvements de population en provenance de zones naturelles présentes dans le voisinage des parcelles, et à cela s'ajoute la méconnaissance du risque que peut constituer une population même réduite du vecteur *Hyalesthes obsoletus* vis-à-vis de la transmission du stolbur, à en juger par les taux d'expression du phytoplasme sur vigne.

Un élément de cette appréciation du risque est contitué par l'évaluation du taux de contamination des populations de *Hyalesthes obsoletus* par le phytoplasme du stolbur.

EVALUATION DU TAUX DE CONTAMINATION DES POPULATIONS DE VECTEUR HYALESTHES OBSOLETUS PAR LE PHYTOPLASME ET TYPAGE DU PHYTOPLASME

Les résultats pour l'ensemble des parcelles suivies en 2006, sont repris dans la figure 6. Les insectes analysés ont été capturés soit par aspiration ciblée sur l'ortie, soit décollés des pièges chromatiques. Les analyses ont été effectuées par pools de 2 insectes, exceptionnellement 1 (parcelle Turckheim NW SR point 29).

Pour les insectes capturés par aspiration, le taux moyen de contamination est de 12,58 %, avec des prélèvements dépassant les 20 % d'insectes contaminés, approchant même les 30 %, mais restant malgré tout conformes aux taux cités par Maixner pour des insectes capturés sur ortie, qui varient entre 0 et 30 %. L'isolat type I a été presque exclusivement retrouvé, mais il aurait dû être le seul de façon exclusive et non quasi exclusive, en raison du mode de prélèvement utilisé. Ainsi on retrouve 2 échantillons qui présentent le type II à hauteur respectivement de 3 % et de 30 % des pools positifs stolbur.

Pour les insectes décollés des pièges jaunes, le taux moyen de contamination de 12,33 % est très proche de celui obtenu sur les insectes capturés par aspiration, ce qui indique un profil de population identique dominé par le type I et donc des insectes inféodés à l'ortie, alors que nous avons aussi un échantillon qui révèle le type II à hauteur de 14 % des pools positifs stolbur. Pour la parcelle FQ on remarquera l'absence de détection du type II alors que la parcelle est infestée par le liseron des champs. Le type II détecté dans les prélèvements par aspiration pour la parcelle KMRi n'est pas retrouvé ici.

Abstraction faite des lots qui dépassent 30 % de contamination et qui sont des prélèvements de faible effectif, les taux sont conformes aux valeurs indiquées par Maixner pour les insectes capturés sur ortie.

Les différences de taux de contamination pouvant exister entre les deux types de capture lorsque ceux-ci coexistent pour une parcelle, peuvent s'expliquer par la nature ciblée et ponctuelle de ces prélèvements qui ne donnent qu'une image partielle de la population (aspiration sur quelques taches d'ortie - décollements réalisés sur une partie des pièges seulement, voire sur un seul piège).

Les taux de contamination peuvent paraître faibles, mais ils sont compensés dans la pratique par la taille des populations rencontrées.

CONCLUSION

Les observations réalisées au cours de cette première année d'expérimentation sur le bois noir de la vigne, semblent montrer que des relations très étroites entre le vecteur de la maladie, le phytoplasme et ses plantes hôtes sont à l'origine d'une situation parfois préocuppante de la maladie dans le vignoble Alsacien. Les analyses de typage réalisées sur vigne qui concernent plus de 300 échantillons à ce jour, vont dans le même sens, avec une situation de monopole pour le type I du phytoplasme.

Les suivis et travaux relatés ici vont être poursuivis, mais nous sommes d'ores et déjà engagés dans la recherche de méthodes de lutte contre le vecteur, et aussi contre l'expression de la maladie, car le premier point ne sera certainement pas doté d'une efficacité suffisante, et il s'agit aussi de réduire l'expression des symptômes et de maintenir la productivité et la qualité de production des parcelles déjà touchées.

Enfin, si ces résultats permettent un début d'explication pour la situation que connaît l'Alsace, nul doute que des travaux de cette nature mériteraient d'être entrepris dans les différents vignobles de l'hexagone.

Ce travail a bénéficié du soutien financier :

- de VINIFLHOR dans le cadre du CPER année 2006,
- du CIVA (Conseil Interprofessionnel des Vins d'Alsace).

Ce travail a été réalisé grâce à la collaboration de :

- Eric THILL, stagiaire, étudiant en M1ProGQPV vigne et vin - UFR Sciences Exactes et Sciences de la Nature - Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse,
- Aurélie MARMONIER, CDD, Station Régionale d'Expérimentation Viti-Vinicole d'Alsace,
- Stéphanie VILLAUME, CDD, ITV France Colmar,
- Claudia RENEL, ITV France Colmar.

Nous tenons aussi à remercier le LNPV de Colmar et plus particulièrement Monsieur Jacques GILLET, pour la mise à disposition de matériel et l'encadrement technique ayant rendu possible la réalisation des analyses moléculaires.

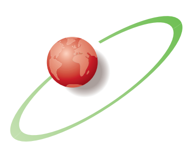




Figure 1



Figure 2

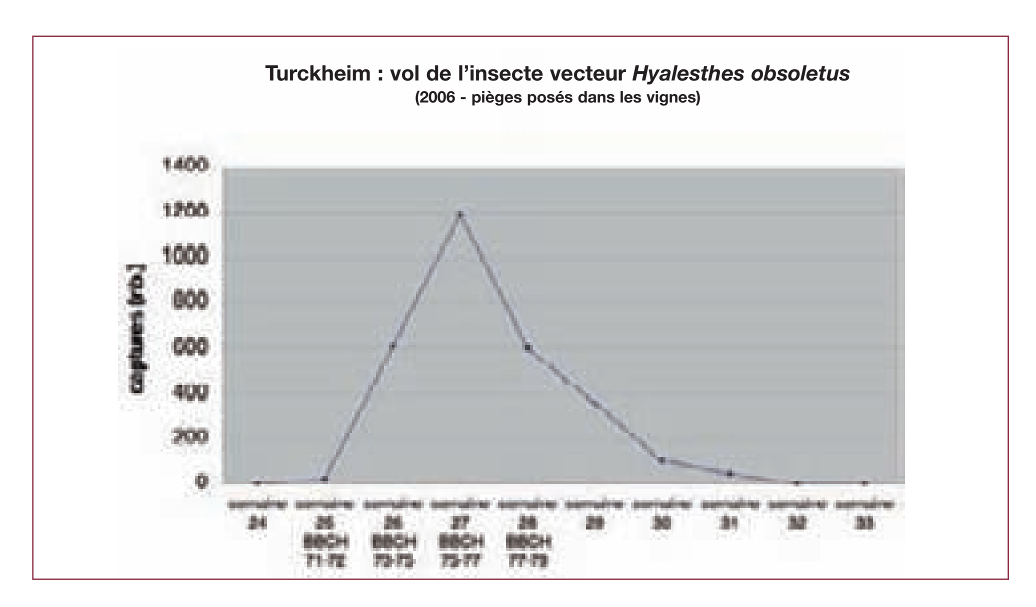


Figure 3

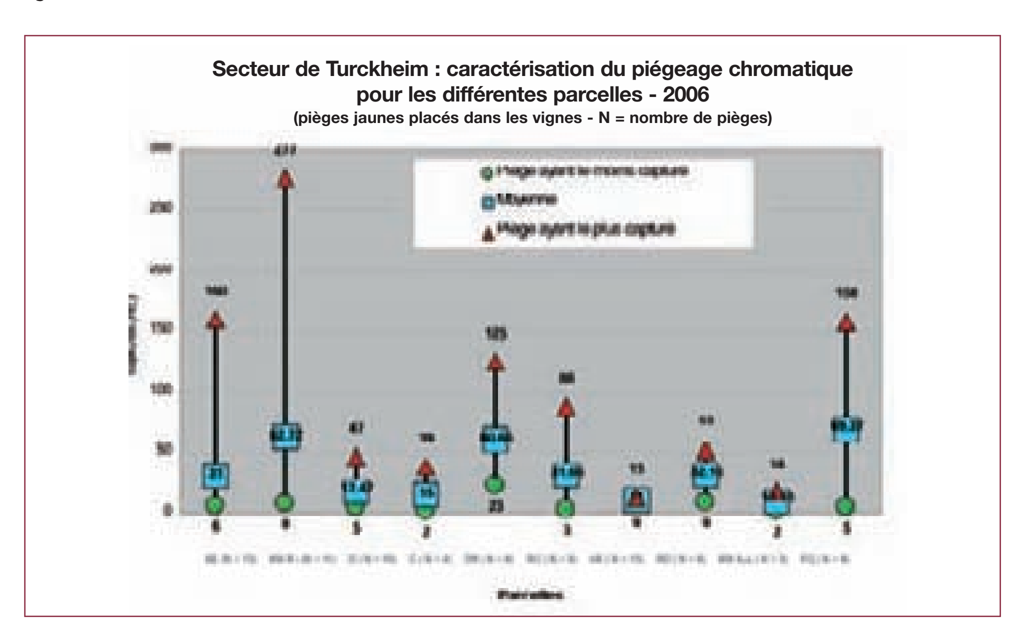


Figure 4

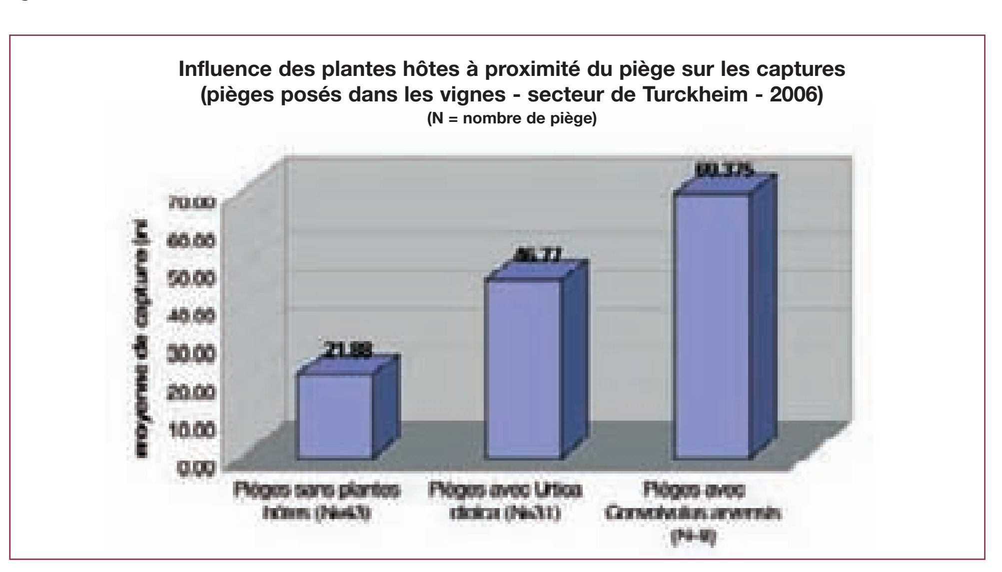


Figure 5

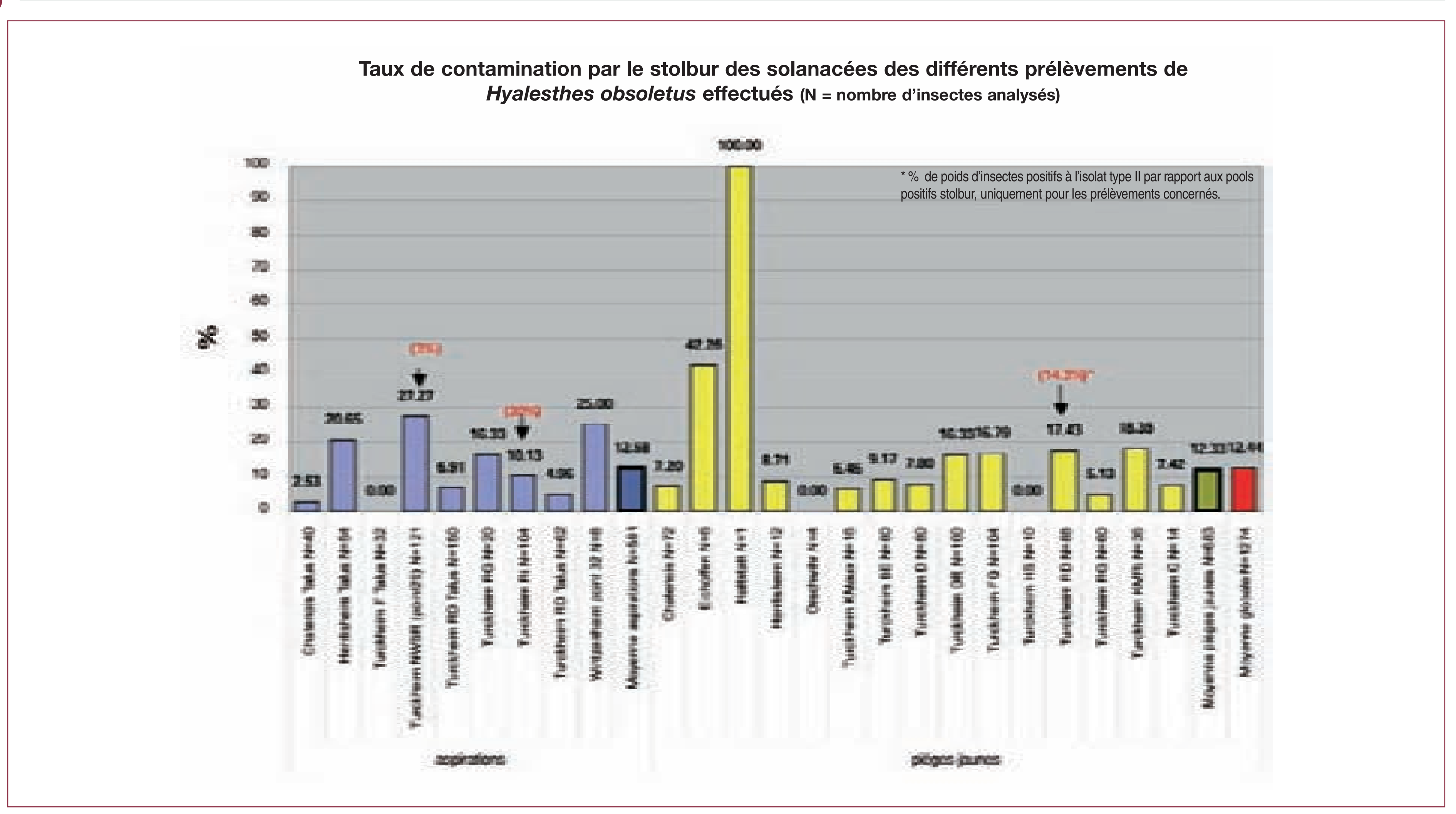

Taux de contamination par le stolbur des solanacées des différents prélèvements de Hyalesthes obsoletus effectués (N = nombre d'insectes analysés)
* % de poids d'insectes positifs à l'isolat type II par rapport aux pools positifs stolbur, uniquement pour les prélèvements concernés.
%
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
2.53
20.65
0.00
27.27
6.91
16.33
10.13
4.06
25.00
12.58
7.20
42.76
100.00
8.71
0.00
6.46
9.17
7.80
16.33
16.70
0.00
17.43
5.13
18.30
7.42
12.33
12.44
aspirations
pièges jaunes

Figure 6

DuPont™ Steward®

DuPont™ Explicit®

LES VERS VONT TREMBLER COMME DES FEUILLES

La nouvelle référence ovicide et larvicide contre vers de la grappe et cicadelle verte



PRODUITS POUR LES PROFESSIONNELS : RESPECTER LES CONDITIONS D'EMPLOI

Initiation et développement des épidémies d'oïdium : les bases biologiques pour optimiser la protection.

Philippe CARTOLARO, Laurent DELIERE, Agnès CALONNEC
INRA Bordeaux Aquitaine - UMR INRA-ENITAB en Santé Végétale - ISVV - IFR103
BP 81 - 33883 VILLENAVE D'ORNON CEDEX

Malgré l'évolution des techniques, l'oïdium demeure une réelle menace pour la vigne. Au-delà des zones méditerranéennes dans lesquelles il est très souvent observé, il s'est montré particulièrement agressif ces dernières années dans les vignobles septentrionaux où il est habituellement considéré comme secondaire. L'année 2004 est encore fortement marquée dans nos mémoires par les sévères attaques subies en Champagne, Bourgogne, Beaujolais ainsi que dans le Bordelais et dans quelques vignobles du Sud-Ouest (Bourgoin, Herlemenont, 2005). Passée la trêve de 2005, l'oïdium refait parler de lui en 2006, et cette fois-ci dans le vignoble de Cognac.

Dans ces situations critiques, les symptômes d'oïdium apparaissent nettement visibles sur le feuillage à l'approche ou dès la floraison (fin mai à début juin selon les vignobles), puis rapidement et de manière explosive sur les jeunes baies en croissance (généralement fin juin). La maladie semble progresser inexorablement, dévastant les grappes au moment de leur fermeture (début à mi-juillet) malgré les traitements de rattrapage effectués dans la plupart des cas. Les dégâts irrémédiables se traduisent par l'élimination des grappes sévèrement atteintes de la récolte. Tel est ce que l'on peut constater.



Afin de mieux comprendre ce comportement invasif de l'oïdium, nous rappellerons les principales caractéristiques de la biologie du parasite et développerons les processus qui régissent le fonctionnement général des épidémies. A partir de ces éléments, nous dégagerons les principes à retenir pour établir les stratégies de protection :

- permettant d'assurer une protection efficace dans les situations à risque élevé sans surenchère de traitements,
- et qui ne soient pas dispendieuses d'applications fongicides pour tous les cas, probablement les plus nombreux, où la pression de la maladie est modérée voire nulle.



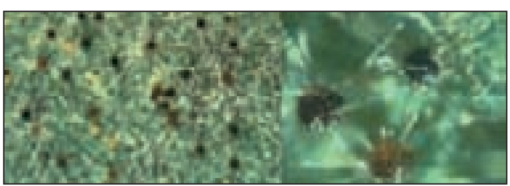
L'OÏDIUM DE LA VIGNE : CARACTÉRISTIQUES DU PATHOSYSTHÈME

De façon générale, l'expression d'une épidémie traduit le développement d'une maladie qui résulte d'une infection d'un hôte par un agent pathogène dans des conditions favorables à sa réalisation. Ces éléments constituent ce que l'on appelle **le pathosystème.** Dans le cas qui nous intéresse, la vigne (*Vitis vinifera*) et le champignon ascomycète nommé Erysiphe necator (*ex Uncinula necator*) en sont les protagonistes indispensables. Les facteurs environnementaux qui conditionnent le processus sont essentiellement climatiques. Toutefois, le système est fortement influencé par les aspects culturaux exercés par l'activité humaine dans le vignoble.

Parasite externe obligatoire des vitacées, *Erysiphe necator* se développe sous la forme de filaments microscopiques (mycélium) à la surface des tissus de la vigne exclusivement. Pour se nourrir, il élabore des suçoirs qui prélèvent les éléments nutritifs dans les cellules épidermiques des organes herbacés du végétal.

La conservation hivernale du parasite peut être assurée de deux façons :

- par le **mycélium** maintenu entre les écailles de bourgeons infectés au cours de la saison végétative précédente,
- par les **cléistothèces,** petits organes sphériques d'1/10e de mm de diamètre environ, issus de la reproduction sexuée du champignon. De couleur jaune orange à leur formation, ils prennent une coloration brun-noir à leur maturité. A ce stade, ils contiennent des spores infectieuses (ascospores) groupées dans de fines enveloppes en forme de sac (asques). Ils se forment dès les mois de juillet août sur tous les organes fortement atteints par la maladie mais plus généralement sur les feuilles en septembre octobre, lorsque la vigne n'est plus protégée. Lessivée par les pluies d'automne, la majeure partie d'entre eux tombe au sol où elle est dégradée par les micro-organismes. Seuls ceux retenus sur les écorces des ceps peuvent parvenir à subsister au cours de l'hiver et constituent **l'inoculum primaire** pour la saison à venir (Gadoury *et al.*, 1988 ; 1990).



Les contaminations primaires issues des formes de conservation hivernale, peuvent également être de deux types. Elles ont lieu au printemps à partir :

- du mycélium hivernant dans les bourgeons infectés qui colonise le jeune rameau en croissance dès sa formation. Cela se traduit par la présence de mycélium blanc-gris abondant à la base de la tige du rameau et conduit au symptôme nommé « **drapeau** » bien connu et aisément reconnaissable par l'aspect fripé des jeunes feuilles fortement infestées par le champignon généralement sur leurs deux faces. Ce faciès est fréquemment observé sur le cépage Carignan. D'autres cépages peuvent également l'exprimer avec une moindre importance. Il est rarement évoqué et observé dans nos vignobles septentrionaux.



- des **cléistothèces viable**s maintenus sur les écorces des ceps. Ils expulsent leurs ascospores lorsque les conditions climatiques sont favorables, sous l'effet des pluies (à partir de 2 mm environ) avec une température minimale voisine de 10 °C (Gadoury *et al.*, 1988 ; 1990). Dans le vignoble bordelais, l'éjection des ascospores peut s'étaler dans le temps, sur une période de plusieurs mois entre mars et juin (Clerjeau, 1995 ; Jailloux *et al.*, 1999).
  Le potentiel infectieux des cléistothèces semble moindre dans les conditions méditerranéennes (Molot, 1995). Les ascospores infectent les tissus des organes atteints lorsqu'ils sont sensibles et produisent alors un réseau de mycélium.



Dans tous les cas, le mycélium formé se développe en colonies sur lesquelles apparaissent de petits appendices porteurs des spores asexuées **(conidies)** du champignon, superposées les unes aux autres en chaînettes. D'aspect translucide, le mycélium et les conidies deviennent visibles à l'œil nu lorsqu'ils sont abondants ; ils constituent les symptômes de la maladie, sous forme de taches gris beige à blanc, d'aspect plus ou moins diffus selon l'exposition à la lumière.



Ces spores constituent l'inoculum secondaire qui assurera l'infection des jeunes feuilles puis des jeunes baies au cours de la saison. Les conidies se détachent des chaînettes sous l'effet de vibrations ou de tout autre choc et sont disséminées principalement par le vent et les pluies. Au contact du végétal, elles germent en quelques heures et développent des filaments mycéliens qui envahissent progressivement les tissus de l'hôte jusqu'à former de nouvelles spores. La durée de ce cycle infectieux est d'environ 8 à 12 jours au vignoble (5 à 6 jours au laboratoire à 22 °C). La succession de ces cycles de façon quasi continue dans le temps assure la dispersion de la maladie et l'inflation des épidémies.

Facteurs favorables

Facteurs climatiques

- La température joue un rôle déterminant par son effet sur la croissance du champignon. L'optimum est compris entre 20 et 25 °C, le parasite pouvant se maintenir entre 6 et 35 °C. Hormis en début de printemps, la température ambiante se situe généralement proche de l'optimum et constitue rarement un facteur limitant pour le développement de la maladie.
- La pluie, plutôt néfaste au parasite, intervient sur l'éjection des ascospores, la dispersion des spores et essentiellement sur l'élévation d'humidité qu'elle entraîne, élément favorisant la croissance et la sporulation du champignon.
- Le vent favorise la dissémination des spores (Willocquet *et al.*, 1998) mais peut perturber l'infection et le développement de la maladie par l'effet desséchant qu'il exerce sur l'air ambiant dans le vignoble.
- Enfin, la lumière directe et plus particulièrement les rayonnements UV (B) du spectre solaire, sont néfastes au parasite (Willocquet *et al.*, 1996).

Pour l'ensemble de ces raisons, la maladie se manifeste en premier lieu de façon discrète principalement **à la face inférieure des feuilles** et se développe de préférence dans les zones ombragées **à l'intérieur** de la végétation.

Sensibilité de la vigne

Les principaux cépages cultivés dans nos vignobles sont considérés sensibles à l'oïdium (Carignan, Chardonnay, Pinot, Merlot, Cabernet-Sauvignon, Ugni blanc…), les cépages les plus précoces semblant plus particulièrement affectés ces dernières années dans les régions concernées.

De façon générale, tous les organes herbacés de la vigne sont susceptibles d'être infectés par l'oïdium, et plus particulièrement à leur stade juvénile.

- Les jeunes feuilles sont très réceptives dès leur apparition et durant une période de 8 à 10 jours environ.
- Les inflorescences peuvent être attaquées, essentiellement à proximité immédiate des foyers précoces.
- Les baies sont sensibles dès leur formation c'est-à-dire dès la chute des capuchons floraux, en pleine floraison. Leur réceptivité est maximale de la nouaison jusqu'au stade « petit pois », et diminue rapidement pour être quasiment nulle au stade « fermeture de la grappe » (Clerjeau 1997 ; Gadoury *et al.* 2003). La maladie peut se développer jusqu'à la véraison voire au-delà, sur les baies déjà infectées à un stade plus précoce.

INITIATION ET DÉVELOPPEMENT DES ÉPIDÉMIES

L'initiation des épidémies, directement issue des contaminations primaires, peut donc avoir deux origines. Dans le cas des « **drapeaux** » et principalement sur Carignan, elle est forcément précoce puisque concomitante au développement des jeunes rameaux.

La source **cléistothèces - ascospores**, plus universelle, concerne l'ensemble du vignoble. Les conditions qui régissent la maturation hivernale des cléistothèces et leur capacité à libérer leurs ascospores au printemps étant mal connues, il demeure très difficile de prévoir les événements propices aux infections primaires. De par l'étendue des éjections potentielles, celles-ci peuvent affecter aussi bien les toutes premières feuilles formées que les jeunes baies nouées. Les études conduites à l'INRA, montrent que, dans le **vignoble bordelais**, les ascospores peuvent contaminer la vigne très précocement, sur des bourgeons situés au stade E (1 à 2 feuilles étalées). Cela est vérifié chaque année, depuis plus de 6 ans, par l'observation de symptômes

précoces (fin avril à début mai) lorsque les rameaux présentent 4 à 6 feuilles étalées. Ces symptômes **très discrets** apparaissent à la **face inférieure** des feuilles de la base de rameaux (1res et 2e feuilles) situées à proximité des écorces des ceps, sous forme de petites taches diffuses de couleur gris beige et affectant parfois le point pétiolaire (Cartolaro *et al.*, 2005). Leur détection coïncide le plus souvent avec des événements pluvieux survenus **10 à 15 jours** auparavant, conformément aux données connues sur la durée des cycles infectieux du champignon.



A Bordeaux, ces symptômes précoces sont observés sur plusieurs cépages dont le Cabernet-Sauvignon, mais plus abondamment sur le cépage Merlot plus précoce. La détection de ces taches discrètes nécessite la manipulation des feuilles et est plus ou moins difficile selon les caractéristiques botaniques des cépages (sensibilité, pilosité). Ce type de symptôme a également pu être observé en 2006 (fin avril) sur cépages Chardonnay et Mauzac dans le vignoble languedocien de Limoux (Aude) - (Cartolaro, pers.).

Développement des épidémies

Dans l'état actuel des connaissances, il est impossible de différencier les épidémies d'oïdium selon l'origine des contaminations primaires dans les vignobles concernés par les deux modes de conservation hivernale du champignon. Dans le cas de parcelles présentant des foyers de type "drapeaux" et d'après les expérimentations conduites dans le Sud-Est par les différents services techniques (SRPV, Chambres d'agriculture,…), il semble difficile d'établir une relation directe entre la densité de drapeaux, l'importance de l'épidémie sur le feuillage et la gravité des dégâts sur grappes (Speich, comm. pers.).

Toutefois, les études entreprises à l'INRA depuis 1997 ont permis de décrire et de caractériser le développement des épidémies d'oïdium à partir d'un foyer artificiel ou de quelques foyers naturels issus de contaminations par ascospores, sur des parcelles non protégées contre la maladie. Les principaux points à retenir sont (Fig. 1) :

- La progression de l'épidémie sur feuilles dans le temps peut être représentée par des courbes « en S » qui traduisent les différentes étapes de l'invasion d'une parcelle par la maladie.
  - **L'explosion de la maladie** généralement constatée **sur les jeunes grappes nouées,** est en fait le résultat du **développement discret de l'oïdium à la face inférieure** des feuilles pendant une période de **40 à 50 jours à partir des contaminations primaires précoces.**
  - Dans le cas général de contaminations primaires **au stade 2 à 4 feuilles étalées,** le fort accroissement de la maladie sur feuilles (à partir de 10 % de feuilles attaquées), **coïncide avec la floraison.** Le stock d'inoculum secondaire ainsi constitué sur les feuilles assure la **contamination des jeunes baies alors à leur stade de plus grande réceptivité.**

Le développement des épidémies est plus ou moins rapide et important selon différents critères liés à chacun des éléments du pathosystème. Pour la vigne, **l'état de vigueur** des ceps (porte-greffe, fumure, état hydrique, densité du feuillage, nature et entretien du sol) intervient de façon déterminante sur le taux d'accroissement des épidémies. Concernant l'agent pathogène, l'agressivité intrinsèque des souches du champignon joue un rôle important, mais le facteur prépondérant semble être **le nombre et la précocité des foyers primaires.** Les contaminations plus tardives, au-delà du stade 7 à 8 feuilles étalées, génèrent des dynamiques d'épidémies bien plus faibles, ayant un moindre impact sur l'infection des grappes. Parmi les facteurs climatiques, la température étant rarement limitante, une hygrométrie élevée semble pouvoir favoriser l'inflation épidémique. Toutefois, 10 années de pratique de contaminations artificielles nous ont montré que l'influence du climat sur l'épidémie n'est pas prépondérante : toute implantation précoce du champignon a généré un développement conséquent de la maladie sur feuilles et sur grappes.

Aucune relation directe n'a pu être établie entre la quantité de cléistothèces formés sur le feuillage à l'automne et l'importance des contaminations primaires au printemps suivant sur la parcelle.

- Les dégâts les plus dommageables sur les grappes, du stade « Fermeture de la Grappe » à Véraison, sont observés **sur et à proximité immédiate des ceps attaqués précocement** (foyers) (Clerjeau, 1995 - Cartolaro, Calonnec, 2000 - Delière *et al.*, 2002 - Calonnec, 2005).

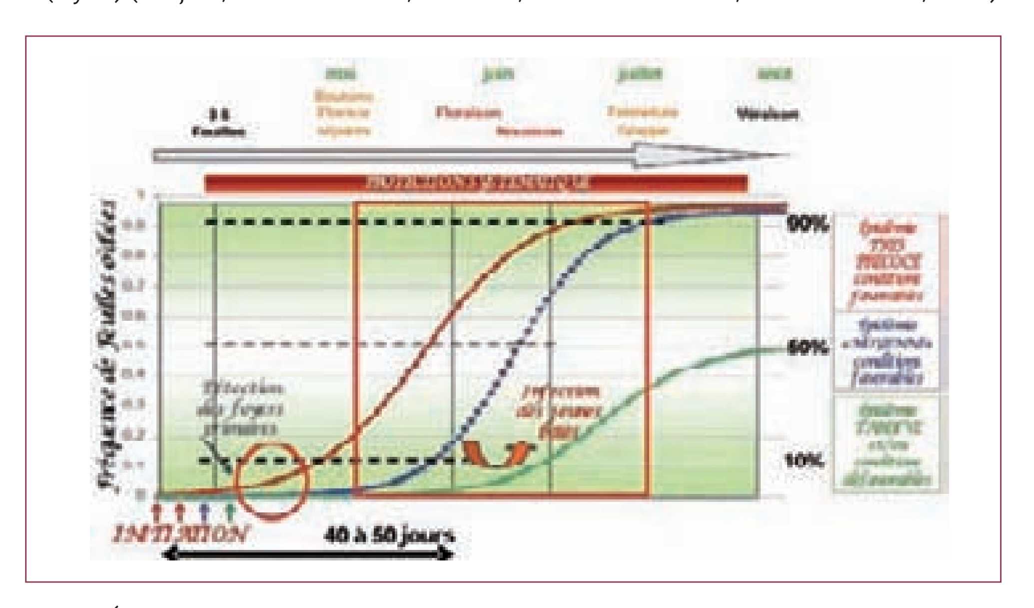


Figure 1 : Évolution de la fréquence de feuilles oïdiées moyenne par cep dans le temps pour 3 types théoriques de situations épidémiques.

RAISONNEMENT DE LA PROTECTION

Le fondement d'une protection phytosanitaire raisonnable et raisonnée est d'adapter la lutte et les coûts qu'elle occasionne (économiques, environnementaux et de santé publique) aux objectifs de production visés. En d'autres termes, l'enjeu est de limiter les dégâts que peut occasionner la maladie et non pas d'éviter l'épidémie elle-même. Il n'est donc pas nécessaire de chercher à atteindre le « zéro symptôme » à tout prix, mais plutôt de contenir le développement du parasite en deçà des seuils acceptables.

L'oïdium est une maladie globalement bien maîtrisée par une protection **encadrant la période de sensibilité des grappes** (jusqu'à la fermeture) et les programmes de lutte prévoient habituellement un démarrage des traitements en **pré-floraison** (Collet, 1995 ; Speich *et al.*, 2001). Le cas particulier des situations à drapeaux ne sera pas abordé dans cette partie.

La contamination des grappes étant liée au développement de la maladie sur les feuilles à partir de foyers initiés précocement, l'objectif des traitements réalisés avant la floraison est de freiner la propagation de la maladie sur le feuillage et de limiter ainsi le stock d'inoculum susceptible de contaminer les grappes (Clerjeau, 1995). Les applications effectuées à partir de la floraison ont pour principal objectif la protection des grappes lors de leur période de grande sensibilité.

- **Protection de pré-floraison :** en l'absence de connaissances précises permettant la prévision des contaminations primaires, il est illusoire de vouloir appliquer des fongicides préventivement à ces événements contaminants. Par ailleurs, de nombreuses expérimentations ont montré qu'il était inutile de protéger systématiquement la végétation dès l'initiation de la maladie. En effet, il est tout à fait possible de tolérer un certain niveau de maladie sur le feuillage sans nuire à la qualité de protection des grappes. Dans l'immense majorité des situations, un seul traitement en pré-floraison est suffisant pour permettre à la stratégie d'assurer une bonne protection de la récolte. Néanmoins, dans un contexte de pression parasitaire très forte (nombreux foyers primaires) un démarrage des traitements plus précoce peut apporter un gain d'efficacité non négligeable. Dans la pratique actuelle, le seul indicateur permettant d'identifier ces situations reste l'historique parcellaire. En effet, des parcelles régulièrement attaquées sur les grappes sont révélatrices de situations favorables à l'expression de la maladie tôt en saison.

Compte tenu de la précocité des contaminations primaires, une stratégie démarrant en pré floraison présente un caractère « curatif » par rapport au développement épidémique, même si elle semble préventive par rapport à des symptômes ultérieurs, aisément visibles au vignoble. En effet, les traitements interviennent le plus souvent alors que l'oïdium est déjà présent de façon discrète sur les feuilles. Certaines spécialités, utilisées lors des premières applications de cette stratégie, permettent de sécuriser l'efficacité globale du programme, notamment sur les grappes (Speich *et al.*, 2001). Le caractère « curatif » par rapport au développement épidémique est lié non seulement aux propriétés curatives (action sur le mycélium) mais également préventives et anti-sporulantes des spécialités (Delière *et al.*, 2006).

- **Les traitements de floraison demeurent primordiaux,** compte tenu de la forte réceptivité des jeunes baies et de l'impact des contaminations à ce stade sur les dégâts à la récolte. Ces applications doivent être réalisées avec le plus grand soin.
- **A l'approche de la fermeture,** les grappes ne sont plus réceptives aux contaminations d'oïdium, mais il est possible de noter une certaine progression des foyers déjà existants jusqu'à la véraison. Les traitements appliqués après ce stade sont donc inutiles lorsque la situation est saine mais peuvent apporter un gain d'efficacité lorsqu'une part non négligeable des grappes présente de légers symptômes.

L'efficacité de la stratégie de traitement est fortement liée à la **qualité de pulvérisation,** notamment sur grappes. A ce titre, la pulvérisation face par face reste la technique permettant la meilleure qualité d'application. Par ailleurs, et le millésime 2004 en a été l'illustration, un défaut important dans l'application des produits ne peut être compensé efficacement par un démarrage plus précoce des traitements.

Enfin, toutes les méthodes culturales limitant la vigueur de la vigne et favorisant l'aération de la zone fructifère permettent de freiner le développement de la maladie et d'améliorer la pénétration des fongicides au sein de la végétation. Il est capital que les produits appliqués **atteignent leur cible.**

CONCLUSION

La maîtrise de l'oïdium au vignoble suppose certains préalables

L'initiation des épidémies d'oïdium peut être très précoce, dans le cas des situations à drapeaux pour lesquelles c'est évident mais également pour les situations initiées à partir de cléistothèces qui concernent la grande majorité de nos vignobles. L'identification des symptômes primaires issus des contaminations par ascospores sur les feuilles de la base des rameaux confirme ce fait. Leur détection permet de vérifier l'occurrence d'événements infectieux dans le vignoble et répond au questionnement sur la grande variabilité des situations observées entre parcelles même proches (Clerjeau*et al.*, 1997, Rouzet *et al.*, 1997). Le critère déterminant pour la compréhension de ce processus réside dans la viabilité des cléistothèces présents, ce sur quoi nous manquons de connaissances fondamentales. De plus, et contrairement aux drapeaux, ces symptômes sont très discrets et peu connus ou du moins peu vus par les praticiens. Or, la manifestation de symptômes précoces est une des caractéristiques des années à forte pression d'oïdium (Rouzet *et al.*, 1997).

On conçoit aisément dès lors que le pilotage précis d'une protection raisonnée optimale qui puisse permettre une économie de traitements notamment pour les situations à faible risque, nécessite de disposer d'une information quantitative sur l'importance des contaminations primaires.

Il est donc indispensable de **rechercher des indicateurs** pertinents et fiables, permettant d'identifier le contexte épidémique auquel on est confronté et de **définir la stratégie de protection** optimale à appliquer (date de démarrage des traitements, nombre d'applications…). Ces indicateurs peuvent être parcellaires et précis, mais coûteux (temps nécessaire à la détection, formation des opérateurs). Ils peuvent être plus généraux, s'appuyant sur une connaissance du risque global élaborée à partir de plusieurs sources dont l'utilisation de modèles en cours d'élaboration et/ou de validation par plusieurs organismes (INRA, PV, ITV.…). La prise en compte des foyers primaires d'oïdium par les réseaux régionaux d'observation de parcelles de référence serait un atout majeur qui permettrait notamment d'alerter la profession dans le cas d'année précoce et donc à risque élevé.

Dans l'attente, il convient de ne pas remettre en cause les préconisations fondamentales de stratégie actuelles et il n'est notamment pas indispensable d'anticiper fortement le déclenchement de la lutte. En revanche, toute carence technique dans la mise en œuvre de la stratégie de protection (qualité de pulvérisation, positionnement des applications, choix des produits…) peut mettre en défaut la qualité globale de la protection, particulièrement dans le cas de situation épidémique à caractère exceptionnel. Un soin particulier devra être accordé aux parcelles systématiquement très attaquées et/ou aux cépages fortement sensibles à ce champignon. Il s'agit classiquement de soigner scrupuleusement la prophylaxie - maîtrise de la vigueur du végétal et contrôle de la croissance en végétation - et d'accorder un soin attentif au choix des fongicides mis en œuvre et à leurs conditions d'emploi tout en privilégiant la pulvérisation "face par face".

L'ensemble de ces conditions étant rassemblé, l'oïdium restera un parasite qui ne devrait pas poser de difficulté majeure dans nos vignobles.

BIBLIOGRAPHIE

Bourgoin B., Herlemont B. 2005. Comportement épidémique de l'oïdium et problèmes de lutte au cours de la campagne. Mondiaviti : 18-19.

Calonnec, A., P. Cartolaro, L. Delière, and J. Chadœuf. 2005. Powdery mildew on grapevine: effect of the date of primary contamination on the disease development on leaves and the damages on grape. Paper read at *OILB/SROP Workshop,* at Brescia, Italie, 20-22 octobre.

Cartolaro P., Calonnec A. 2000. Apparition et développement des épidémies d'oïdium au vignoble : incidences sur la gravité des dégâts sur grappes. *Union Girondine des Vins de Bordeaux,* 957 : 44-46

Cartolaro, P. et Raynal M. (2001). Mieux connaître le développement des épidémies pour mieux gérer la protection du vignoble conte l'oïdium. *Union Girondine des Vins de Bordeaux,* 968 : 38-43.

Cartolaro P., Delière L., Herlemont B. 2002. Protection de la vigne contre l'oïdium : préconisations, état des recherches et préconisations. *Union Girondine des Vins de Bordeaux,* 979 : 38-41.

Cartolaro P., Delière L., Delbac L., Forget D., Girard G. 2005. Comportement de l'oïdium de la vigne en Aquitaine en 2004. *Union Girondine des Vins de Bordeaux,* 1009 : 40-45.

Clerjeau M. 1995. Données récentes sur la caractérisation des risques d'oïdium chez la vigne. Euroviti : 105-108.

Clerjeau M., Blancard D. et Launes S. 1997. précocité des contaminations primaires, sensibilité des grappes et gravité des attaques d'oïdium de la vigne. ***Euroviti :*** 75-80.

Collet L. 1995. les périodes clefs de protection contre l'oïdium : essais de protection de la vigne à différents stades de développement. ***Euroviti :*** 118-120.

Collet L., Magnien C., Boyer J., *et al.* 1998. Raisonnement de la lutte contre l'oïdium de la vigne : quelles périodes protéger en priorité ? *Phytoma* 504: 50-55.

Delière L., Cartolaro P., Sauris P., *et al.* 2002. Infestation artificielle de la vigne par l'oïdium: des outils pour les expérimentations au vignoble. *Phytoma* 549: 9-12.

Delière L., Cartolaro P., Sauris P. 2006. Action curative des fongicides anti-Oïdium : incidence sur l'élaboration de stratégies à nombre réduit de traitements. *In : 6e Conférence Internationale sur les Maladies des Plantes, Tours* - décembre 2006, AFPP, sous presse.

Gadoury D. M., Pearson R. C. 1988. Initiation, development, dispersal and survival of cleistothecia of Uncinula necator in New-York vineyard. *Phytopathology* 78 (11): 1278-1293.

Gadoury D. M., Pearson R. C. 1990. Ascocarp dehiscence and ascospore discharge in Uncinula necator. *Phytopathology* 80 (4): 393-401.

Gadoury D. M., Seem R. C., Ficke A., *et al.* 2003. Ontogenic resistance to powdery mildew in grape berries. *Phytopathology* 93 (5): 547-555.

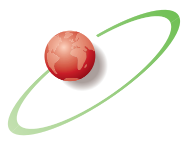
Jailloux, F., L. Willocquet, L. Chapuis and G. Froidefond. 1999. "Effect of weather factors on the release of ascospores of *Uncinula necator,* the cause of grape powdery mildew, in the Bordeaux region. *Canadian Journal of Botany* 77(7): 1044-1051.

Rouzet J., Weber M. et Collet L. 1997. Modèles de prévision des épidémies d'oïdium de la vigne : premiers résultats. ***Euroviti :*** 82-89.

Speich P., Bourgouin B., Blanc M. 2001. Oïdium de la vigne : raisonner les interventions et gérer les spécialités disponibles. *Phytoma* 535: 24-27

Willocquet , L., D. Colombet, M. Rougier, J. Fargues, and M. Clerjeau. 1996. Effects of radiation, especially ultraviolet B, on conidial germination and mycelial growth of grape powdery mildew. *European Journal of Plant Pathology* 102 (5): 441-449.

Willocquet , L., F. Berud, L. Raoux, and M. Clerjeau. 1998. Effects of wind, relative humidity, leaf movement and colony age on dispersal of conidia of Uncinula necator, causal agent of grape powdery mildew. *Plant Pathology* 47 (3): 234-242.



Oïdium : quelles stratégies dans le Sud-Est ?

Bernard MOLOT
ITV France - Domaine de Donadille - 30230 RODILHAN

QUEL CONSTAT EN 2006 ?

Si depuis 2003, les sécheresses printanières puis estivales généralisées entraînent une pression mildiou faible à nulle (avec toutefois quelques exceptions très localisées) il en va un peu différemment en ce qui concerne l'oïdium. C'est ainsi qu'au fil des ans l'on a pu constater un allégement des traitements anti-mildiou, progressivement étendu à l'oïdium, constat particulièrement évident en 2005 et 2006, suite notamment aux difficultés budgétaires de nombreuses exploitations.

Un allongement excessif des cadences, parfaitement possible dans le cas du mildiou, a ainsi été à l'origine d'une présence anormalement élevée de l'oïdium à partir de mi-mai 2006, mais la canicule qui s'est installée à la mi-juin a heureusement stabilisé le parasite dans la plupart des situations.

Ces attaques peuvent également dans de nombreux cas être reliés à une pulvérisation approximative, notamment du fait d'un nombre excessif de rangs traités en un seul passage.

Ces manquements évidents aux « bonnes pratiques agricoles » expliquent la plupart des difficultés rencontrées pour maîtriser l'oïdium dans le Sud-Est, toutefois particulièrement précoce et virulent en 2006.

QUELQUES PARTICULARITÉS MÉRIDIONALES

Dans le vignoble méridional les deux types de conservation hivernale décrits par Ph. Cartolaro sont présents et peuvent cohabiter dans la même parcelle.

Reproduction sexuée par cléistothèces

C'est le cas le plus répandu en France et qui prédomine également dans le vignoble méridional. Notons d'ores et déjà qu 'en 2006, de nombreuses vignes n'ont pas reçu de couverture cuprique et présentaient en octobre de très fortes quantités de cléistothèces sur le feuillage. Même si la corrélation entre fréquence de cléistothèces et gravité des attaques lors de l'année suivante reste délicate à quantifier précisément, il est toutefois plus que probable que cet inoculum compliquera la situation 2007.

Quelles conséquences pratiques ?

Sachant que les contaminations primaires provenant des cléistothèces sont difficilement détectables et qu'elles ont lieu sur une période d'environ 3 mois, il est probable ou en tout cas possible que le premier traitement, habituellement conseillé au stade boutons floraux séparés (soit 10-12 feuilles étalées ou environ 10 jours avant début floraison) soit positionné sur un oïdium déjà présent mais difficilement visible car présent majoritairement sous forme de mycélium. D'où l'intérêt évident de systématiquement démarrer sa protection par un fongicide actif sur oïdium installé et surtout pas par un produit plutôt voire exclusivement préventif (type azoxystrobine ou quinoxyfen). A noter également à ce sujet que le sous-dosage quasi-systématique du soufre mouillable à cette période ne peut qu'amplifier le problème, d'autant plus s'il reste utilisé à sa cadence la plus longue…

Enfin dans les vignes ayant subi des attaques d'oïdium l'année précédente et/ou n'ayant pas reçu de couverture cuprique, il est fortement probable qu'un stock important d'inoculum soit présent et l'on aura logiquement tout intérêt à intervenir plus tôt (stade G ou 17) de façon

a priori préventive, pour maîtriser l'attaque dès le départ. L'utilisation de produits actifs sur oïdium déjà présent est dans ce cas moins impérative mais cependant nettement préférable au moins pour la première intervention.

Notons toutefois que dans les parcelles sans drapeaux présentant régulièrement un oïdium mal maîtrisé, la mise en œuvre d'une stratégie de lutte démarrant au stade boutons floraux séparés suffit toujours à régler le problème si :

- le premier fongicide appliqué est actif sur oïdium installé,
- les délais de renouvellement et doses homologuées sont respectés,
- la qualité de pulvérisation est optimale.

Ce qui revient à dire que l'anticipation du premier traitement dans de tels cas vise davantage à contrebalancer de mauvaises pratiques qu'à s'adapter à une épidémiologie différente…

Dans tous les cas de figure l'important doit être d 'empêcher la constitution d'un stock d'inoculum primaire

Reproduction asexuée par drapeaux

Ce cas n'est présent que dans les seuls vignobles méridionaux et ne concerne que certains cépages (essentiellement Carignan et dans une moindre mesure Chardonnay, Marsanne et Portan). Il peut toutefois, mais à titre anecdotique, être observé sur d'autres cépages du Sud-Est (Grenache) ou dans d'autres régions (Cabernet-Sauvignon en Bordelais, Riesling en Alsace).

La différence fondamentale provient du fait que l'oïdium se conserve en hiver non plus sous forme de cléistothèces mais sous forme de conidies ou de mycélium dans les bourgeons laissés à la taille. Dès le débourrement le mycélium colonise immédiatement la jeune pousse. L'invasion se traduit initialement par une vitesse de croissance diminuée, ce qui ne permet toutefois pas d'identifier formellement la présence du parasite (le débourrement est naturellement hétérogène et le mycélium n'est visible qu'à la loupe binoculaire). Les feuilles vont progressivement par la suite se crisper et s'incurver vers le haut, juste avant l'apparition d'un feutrage gris cendré caractéristique, correspondant (comme dans le cas de la reproduction sexuée décrite auparavant) à la formation des conidiophores et conidies. Ce feutrage apparaît toujours à partir du pétiole de la feuille, par lequel arrive nécessairement le mycélium. Ces pousses oïdiées typiques de l'oïdium, dénommées drapeaux, sont clairement identifiables généralement à partir du stade 4 à 6 feuilles étalées. A partir de 3 semaines après le débourrement les bourgeons de la base, qui seront conservés lors de la future taille, sont déjà contaminés par l'oïdium.

Les inflorescences présentes sur le drapeau sont généralement entièrement détruites ou au moins atteintes d'une très forte coulure mais il est actuellement impossible de corréler précisément nombre de drapeaux et gravité des attaques classiques durant la phase floraison/nouaison, probablement parce que les deux types d'inoculum (drapeaux et cléistothèces) peuvent parfaitement être présents et cohabiter au sein d'une même parcelle.

Les conidies présentes sur les drapeaux ont les mêmes exigences que celles issues des cléistothèces et vont générer des contaminations secondaires ultérieures exactement dans les mêmes conditions.

Présence de drapeaux : quelles conséquences pratiques ?

La principale différence est que l'épidémie démarre généralement nettement plus tôt et avec un inoculum primaire souvent plus important que dans le cas précédent.

Les bourgeons contaminés générant à terme des coursons dont les bourgeons sont contaminés, la localisation des ceps (et même des coursons) porteurs de drapeaux dans la parcelle est parfaitement stable au fil des ans, si ce n'est le fait qu'une protection trop approximative entraînera une apparition régulière de nouveaux ceps porteurs de drapeaux.

Les bourgeons étant contaminés très tôt un démarrage trop tardif de la protection ne pourra jamais enrayer la progression des drapeaux au fil des ans et limitera tout au plus les contaminations secondaires qu'ils engendreront pour la campagne à venir, la fréquence des drapeaux restant dans le meilleur des cas stable d'une année sur l'autre mais pouvant facilement s'aggraver, cas apparemment plus fréquent.

Le mycélium étant présent très tôt sur les pousses, seul un positionnement précoce (dès que la moitié des pousses est au stade 2 à 3 feuilles étalées) est susceptible de faire à terme disparaître les drapeaux en empêchant ou limitant la contamination des bourgeons.

Ce traitement est incontournable dès la présence d'un drapeau ou plus par cep. La plupart des fongicides peuvent être utilisés à ce stade, ceux actifs sur oïdium installé apportant toutefois plus de souplesse d'emploi.

En présence de moins de un drapeau par souche, une intervention légèrement plus tardive (moitié des pousses au stade 5-6 feuilles étalées) est possible mais le mycélium ayant déjà commencé à coloniser les bourgeons le fongicide devra nécessairement être actif sur oïdium installé et de préférence pénétrant, un produit de type IBS ou QoI étant alors un bon compromis.

Dans ces 2 cas de figure le choix du fongicide pourra utilement intégrer la problématique excoriose.

RÉCEPTIVITÉ DE LA VIGNE

La sensibilité des cépages méridionaux est très majoritairement conforme à celle décrite par Ph. Cartolaro, avec seulement deux exceptions clairement identifiées et concernant le Muscat à petits grains et le Piquepoul.

Ces deux cépages restent en effet sensibles jusqu'en début véraison et il est parfaitement possible d'y voir une situation saine à la fermeture des grappes se dégrader fortement durant la véraison. Dans une moindre mesure le Chardonnay situé dans un contexte à forte pression (parcelles limitrophes très touchées) peut lui aussi nécessiter une protection jusqu'à mi-véraison.

Pour tous les autres cépages ne pas oublier que :

- cette réelle absence de sensibilité à partir de la fermeture des grappes concerne les contaminations,
- le mycélium présent à ce stade peut poursuivre son évolution.

Quelles conséquences pratiques et quand arrêter la protection ?

Le maximum de contamination sur grappes a très probablement lieu durant la phase floraison-nouaison, puisque les tout premiers symptômes apparaissent classiquement en fin de nouaison soit approximativement mi-juin dans le vignoble méridional. La détection visuelle étant très difficile sur de très jeunes baies (une différence anormale de taille entre les différentes baies, un aspect moins brillant peuvent alerter), il faudra attendre la sporulation du parasite, soit encore environ 2 semaines, pour déceler au champ les symptômes caractéristiques du parasite. Ce qui correspond à fin juin/début juillet, époque à laquelle de nombreux viticulteurs alertent leurs services techniques respectifs d'une attaque - généralement conséquente - d'oïdium. Or l'attaque est en fait terminée, ou presque, et il ne reste plus qu'à essayer - en général en vain - de limiter son extension jusqu'à la véraison…

La phase floraison-nouaison doit donc impérativement faire l'objet d'une protection sans faille et ce n'est qu'à la fermeture des grappes que la décision d'arrêter ou non la protection peut intervenir, après observations attentives au vignoble.

Sous réserves d'un contrôle soigné d'au moins 50 grappes observées au hasard sur un minimum de 20 souches et en ne négligeant surtout pas les grappes les plus abritées au cœur de la souche :

- si au stade fermeture la parcelle est indemne (moins de 10 % des grappes touchées) la protection peut-être interrompue, sauf sur Muscat à petits grains et Piquepoul ou sauf si les parcelles limitrophes sont fortement touchées (attention dans ce cas au Chardonnay),
- si 10 à 30 % des grappes sont touchées, il est conseillé de poursuivre la protection jusqu'en début véraison, mais la maladie restera visuellement présente et pourra même parfois continuer à évoluer,
- si plus de 30 % des grappes sont atteintes, la situation est sans espoir et il sera quasi-impossible d'enrayer son évolution qui se poursuivra jusqu'à la véraison. Il faudra identifier clairement les causes d'échec et y remédier pour la campagne à venir.

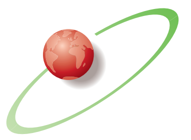
En complément des traitements spécifiques contre l'oïdium, il est sans doute utile de rappeler qu'une couverture cuprique permet de considérablement réduire la formation de cléistothèces en arrière-saison. Cet effet secondaire du cuivre n'est donc pas à négliger, d'autant plus qu'il peut être obtenu avec des doses inférieures à celles homologuées, de bons résultats étant constatés avec des apports de 800 g de cuivre/ha.

REMERCIEMENTS

Les préconisations présentes dans ce texte proviennent des nombreuses expérimentations réalisées dans l'arc méditerranéen notamment dans le cadre général des Contrats de Plan entre l'Etat - représenté par Viniflhor - et les Conseils Régionaux de Languedoc-Roussillon et Provence-Alpes-Côte d'Azur.

Ce partenariat a impliqué les Chambres d'Agriculture du Vaucluse, de l'Aude et des Pyrénées Orientales, les Services départementaux de la Protection des Végétaux, le GRAB et ITV France.

La plupart de ces résultats sont repris dans la brochure « Guide des vignobles Rhône-Méditerranée » éditée annuellement par l'AREDVI (Maison des Agriculteurs, 22 avenue Henri Pontier, 13626 Aix en Provence).



Oïdium : premier traitement, un vrai dilemme ?

Cas du vignoble champenois

Marie-Laure PANON, Sébastien DEBUISSON, Denis BUNNER, Laurent PANIGAI
Services Techniques du CIVC

UNE MONTÉE EN PUISSANCE DE L'OÏDIUM

L'oïdium est une maladie dont l'importance, dans le complexe parasitaire du vignoble champenois est récente.
Si 2004 est une année de référence en matière de pression oïdium, 1981 revient fréquemment à l'esprit des vignerons. L'oïdium fut alors qualifié de « maladie de l'année ». Les cépages noirs, particulièrement le meunier, étant moins sensibles que le chardonnay, l'extériorisation des symptômes sur les trois cépages et dans plusieurs régions, comme en 1981, 2004 et 2006 est un indice probant pour identifier une année à oïdium.
Si en 1982 plusieurs foyers sont encore observés, l'oïdium reste relativement anecdotique pendant plusieurs années, jusqu'en 1996. En 1996, 1998 et 1999 la maladie se signale fortement dans quelques régions. Depuis 2003, la fréquence de parcelles touchées est significative tous les ans.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
% de parcelles avec présence d'oïdium sur grappes	5	2	7	31	57	10	34
% de parcelles avec présence d'oïdium sur plus de 10 % des grappes	1	1	1	6	18	1	13
Nombre de parcelles suivies	385	600	650	581	587	560	572

Tableau 1 : Fréquence de parcelles concernées par l'oïdium, réseau Magister. L'intensification des observations au vignoble par les techniciens depuis le milieu de la décennie 90, et en particulier depuis les années 2000 permet de mieux appréhender la manifestation de la maladie.

ÉVOLUTION DES RECOMMANDATIONS POUR LE DÉBUT DE PROTECTION ANTI-OÏDIUM

Au début des années 80, les recommandations consistent à protéger la vigne du stade 3 à 5 feuilles jusqu'à la véraison. Fin des années 80, la raréfaction des dégâts d'oïdium au vignoble a pour corollaire un glissement du début de protection vers le stade 7/8 feuilles. L'anticipation à 3 feuilles est conseillée dans les parcelles touchées l'année précédente A cette époque, le début de la protection contre l'oïdium, considérée comme une maladie très secondaire, est à la remorque de la lutte contre le brenner. Dans l'argumentaire technique l'ajout d'un soufre au fongicide anti-brenner permet à la fois de lutter contre l'oïdium et contre l'érinose.
L'abandon des traitements spécifiques contre le brenner, en particulier les BMC à partir de 1996 pour cause de raréfaction de cette maladie, avec les premières références d'essai « à fenêtre » de la Protection des Végétaux et l'approfondissement des connaissances en matière d'épidémiologie de l'oïdium conduisent à consolider les recommandations de lutte.
A partir de 1999 le début de protection est conseillé à partir du stade 10 feuilles, suite aux nombreuses références d'essais « à fenêtre » (Collet *et al.*, 1998). La protection est anticipée à 7/8 feuilles dans les parcelles contaminées par l'oïdium l'année précédente. Le choix du fongicide pour le premier traitement est orienté vers une spécialité curative uniquement dans cette situation (Speich *et al.,* 2001).

2004 ANNÉE CHARNIÈRE POUR LA PRISE EN COMPTE DE L'OÏDIUM DANS LE COMPLEXE PARASITAIRE MAJEUR EN CHAMPAGNE

L'oïdium est classiquement visualisé sur grappes par les techniciens mi-juillet, à partir du stade grain de pois, lors de l'observation des pontes de la deuxième génération de cochylis. En 2004, pour la première fois, des symptômes sur feuilles et sur inflorescences sont observés fréquemment à la veille de la floraison, deux semaines après le début de protection pour certains vignerons. Auparavant, aucune observation précoce dédiée à l'oïdium sur feuilles n'était réalisée par les réseaux de lutte raisonnée.

Ainsi, la stratégie « officielle » de début de protection est remise bruyamment en question par les viticulteurs au cours de la campagne 2004. Mettre en cause le début de la lutte anti-oïdium conseillé par les techniciens pour expliquer des défaillances de qualité de protection est classique et facile à comprendre.
Néanmoins, le stade du premier traitement n'est pas le principal responsable de l'état sanitaire des parcelles constaté en fin de campagne 2004 (voir figure 1).

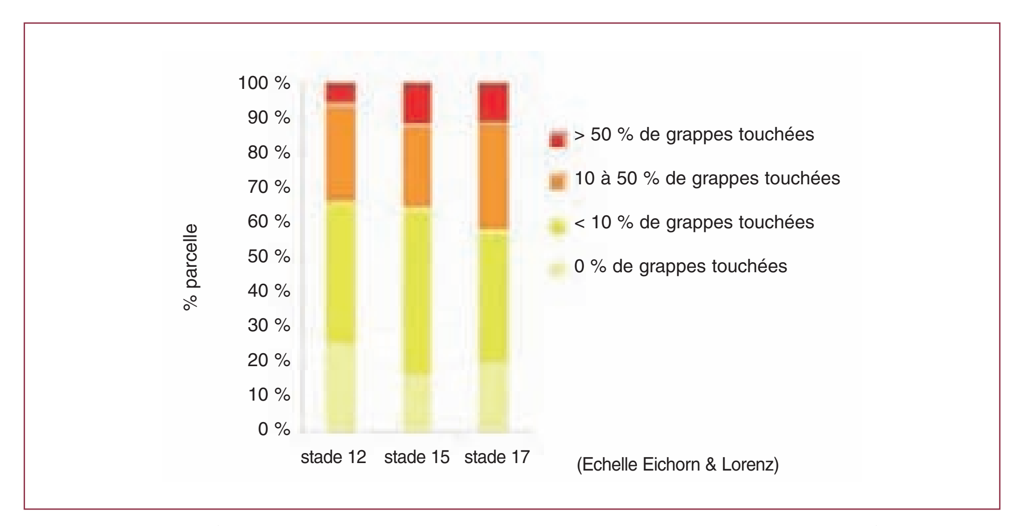


Figure 1 : Stade de début de protection et classe d'attaque sur grappes en fin de campagne, réseau Magister, campagne 2004 (80 parcelles renseignées, effectifs par classe équilibrés)

Par contre, l'effet « qualité de pulvérisation » saute aux yeux. Les notations de dégâts d'oïdium dans un même secteur sur la commune de Broyes, pour deux types de pulvérisation, fin 2004, en fournissent l'illustration (figure 2).

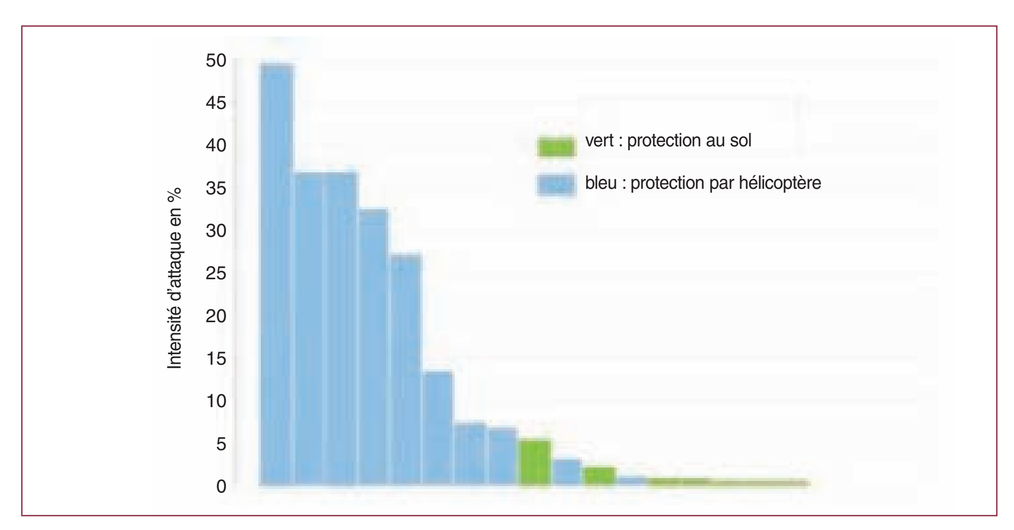


Figure 2 : Intensité d'oïdium comparée selon le mode de protection sol/hélicoptère, commune de Broyes, campagne 2004. Un même nombre de parcelles protégées par voie aérienne, comparé à des parcelles protégées au sol, a été observé.
La qualité de pulvérisation est diagnostiquée comme étant le principal facteur limitant la protection contre l'oïdium, en cas de pression parasitaire. La pulvérisation par hélicoptère, qui couvre environ 10 % des surfaces, et par pendillards sont limitantes par manque de dépôt de produit particulièrement dans la zone des grappes. Les viticulteurs ont été fortement sensibilisés sur ce point, suite notamment à la campagne 2004.

LA PULVÉRISATION PRINCIPAL FACTEUR IDENTIFIÉ POUR AMÉLIORER LA QUALITÉ DE PROTECTION

Le taux de rééquipement au vignoble en matériel de pulvérisation pneumatique « face par face » augmente depuis 2002. Il s'accélère surtout depuis 2004. C'est un des matériels les plus performants pour la protection des grappes.
Les appareils pneumatiques non face par face sont en régression. Le parc de pendillards diminue lui aussi : 50 % des tracteurs destinés à la pulvérisation sont équipés en pendillard désormais, contre 75 % il y a 10 ans. Depuis trois ans on ne constate quasiment plus de ventes de tracteurs équipés en pendillards.

Parallèlement, on estime aujourd'hui qu'environ la moitié du parc de pendillards est équipé avec les nouvelles buses TVI, buses à turbulence à injection d'air, commercialisées depuis le printemps 2005 (voir figure 3). Ces buses permettent d'augmenter la quantité de produit déposée sur la plante.

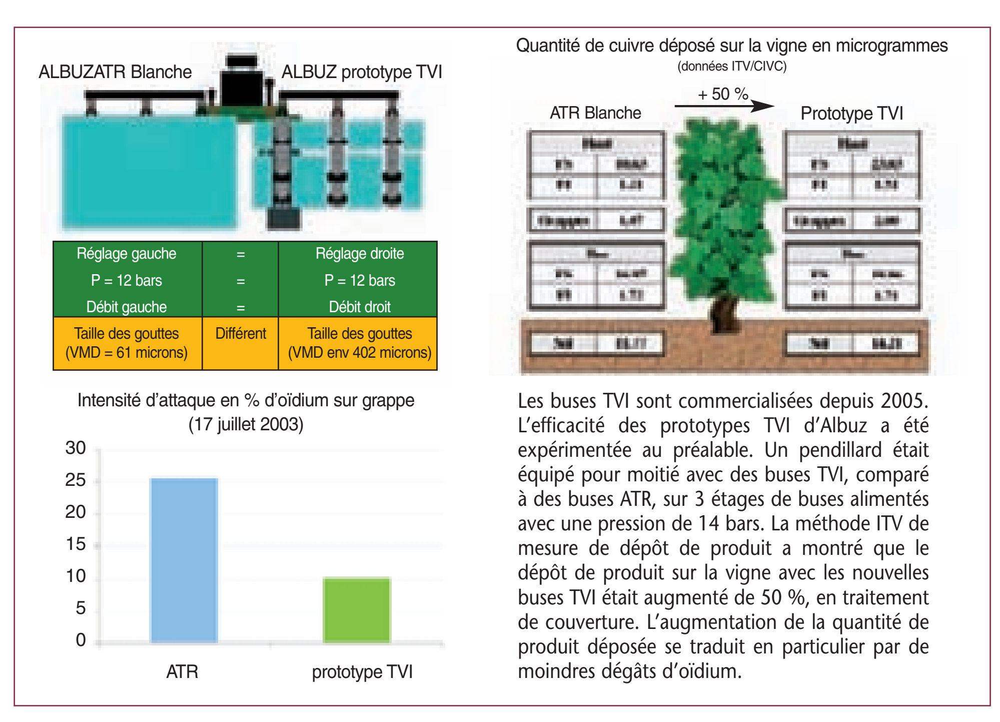


Figure 3 : Evaluation des buses TVI ALBUZ

L'oïdium est une maladie récente pour la majorité du vignoble. La tolérance de dégâts est proche de zéro pour les vignerons. La rumeur qui veut que l'oïdium soit nuisible à la qualité du vin à de faibles niveaux d'attaque justifie d'ailleurs des pratiques qui visent l'éradication du parasite. Quand la maladie est visible sur grappes mi-juillet, les interventions phytosanitaires sont donc parfois « conséquentes ».

NUISIBILITÉ DE L'OÏDIUM SUR VIN

Suite à 2004, des vinifications de raisins oïdiés sont mises en œuvres avec les objectifs suivants :

- évaluer à la dégustation l'impact de l'oïdium sur la qualité des vins, car il n'existe aucune référence œnologique sur le sujet en Champagne, très peu dans d'autres régions viticoles (Darriet *et al.*, 2002 : Calonnec *et al.*, 2004 ; Stummer *et al.*, 2004),
- mesurer l'efficacité des pratiques de tri à la vigne,
- mesurer l'efficacité des traitements œnologiques pré-fermentaires (le complexe bentonite/PVVP a été testé),
- constituer un référentiel de vins très oïdiés, pour la caractérisation sensorielle de ce problème en Champagne, et aider à la dégustation des essais. Dans ce but, des vinifications en 50 kg sont réalisées par le CIVC tous les ans depuis 2004.

Les dégustations de moûts issus de raisins sévèrement oïdiés (au moins 80 % de volume touché) révèlent des arômes mentholés, brûlants, avec une amertume plus prononcée en fin de bouche et une acidité plus dure en finale. On remarque aussi parfois une grande rondeur.
La première année, des phénomènes d'oxydation liés à la vinification en bonbonne n'ont pas permis d'apprécier de façon convenable les éventuelles déviations présentes sur les vins fortement oïdiés. La récolte de 2005 met en évidence un manque de structure, de la rondeur, des vins presque huileux, visqueux, des notes champignon-terreuses sur des lots où l'oïdium était surinfecté par des moisissures de type *Pénicillium*.

Des marcs ou lots de 160 kg ont été vinifiés en 2004 et 2006. Le chardonnay et le pinot noir ont été choisis en 2004. Du fait de la difficulté pour évaluer l'état sanitaire de la vendange sur les cépages noirs, ces derniers étant d'ailleurs moins fréquemment concernés par l'oïdium, seul le chardonnay est désormais vinifié. Les résultats exposés concernent la campagne 2004.

Commune / Lieu-dit	Cépage	Volume de récolte touché par parcelle	Nombre de lots (160 kg)	Volume de récolte touché des lots oïdiés
Avize / Dhymens	Chardonnay	13 % ± 20 %	1 trié sain - 2 oïdiés	31 % ± 11 %
Oger / Le Donjon	Chardonnay	35 % ± 30 %	1 trié sain - 2 oïdiés	37 % ± 9 %
Hautvillers / Cave Thomas	Pinot noir	35 % ± 30 %	1 trié sain - 2 oïdiés	38 % ± 16 %

Tableau 2 : Caractéristiques des lots de 160 kg récoltés en 2004.

L'estimation de l'état sanitaire des parcelles a été effectuée en notant 100 grappes. L'état des parcelles justifiant a priori la pratique du tri, la consigne pour la constitution du lot sain était de récolter des grappes saines, voire très peu touchées (moins de 10 % de volume avec des traces d'oïdium). Concernant le lot oïdié, la consigne était d'écarter les raisins les plus touchés (au moins 80 % du volume de la grappe oïdié) en cueillant la parcelle. L'estimation de l'état des marcs oïdiés a été effectuée sur chaque panier versé sur des clayettes : le volume moyen de récolte touché des lots oïdiés oscille entre 30 et 40 % en 2004 pour les 3 sites.

Parcelle	Modalités	Temps pour obtenir la cuvée (85 l)
Avize	Trié (sain) oïdié marc 1 oïdié marc 2	1h40 1h40 1h43
Oger	Trié (sain) oïdié marc 1 oïdié marc 2	1h35 1h30 1h30
Hautvillers	Trié (sain) oïdié marc 1 oïdié marc 2	1h40 **1h50** **1h55**

Tableau 3 : Pressurage expérimentation 2004, pressoir Bucher 160 kg à membrane latérale, cuverie expérimentale du CIVC.

La présence d'oïdium sur chardonnay dans les conditions de 2004 ne pénalise pas le pressurage. Des différences sont observées à Hautvillers sur pinot noir. Elles sont liées à un niveau de maturité des raisins oïdiés moins avancé que les raisins triés, sur ce site, mais également à l'action enzymatique de botrytis qui déshydrate les baies de raisin. L'oïdium était effectivement surinfecté par la pourriture grise.

On n'observe pas de différences, du point de vue analytique, entre les moûts issus de lots triés et oïdiés, sur les références 2004 et 2006.

Dans les conditions de l'expérimentation de 2004, les dégustations n'ont pas révélé de déviation sensorielle sur les vins des lots oïdiés de 160 kg. Les traitements œnologiques ont engendré des vins moins structurés, moins fruités par rapport aux lots oïdiés non traités sur moût.

Stade	Commune Cépage	Comparaison	Réponses aux tests triangulaires	Commentaires les plus fréquemment cités
Vin de base	Avize / Chardonnay	Trié sain / oïdié	7/13 (NS)	Lot oïdié plus fermé. Des notes de réduction.
		oïdié / oïdié traité sur moût	8/13 (S)	Lot traité plus réduit (8). Lot oïdié jugé plus fruité (3).
	Oger / Chardonnay	Trié sain / oïdié	5/12 (NS)	Lot sain plus acide, plus mordant.
		oïdié / oïdié traité sur moût	8/12 (S)	/
12 mois de tirage	Avize / Chardonnay	Trié sain / oïdié	5/11 (NS)	Lot sain plus réduit (4)
		oïdié / oïdié traité sur moût	7/11 (S)	Lot oïdié plus structuré.
	Oger / Chardonnay	Trié sain / oïdié oïdié / oïdié traité sur moût	8/11 (S) 4/11 (NS)	Lot sain plus réduit (4). /
Vin de base	Hautvillers / Pinot noir	Trié sain / oïdié	7/13 (NS)	Lot sain plus fruité (4), plus acide (5). Lot oïdié plus réduit (3), fumé (2).
12 mois de tirage		oïdié / oïdié traité sur moût	8/13 (S)	Lot oïdié plus fruité (3). Lot traité plus réduit (8).
		Trié sain / oïdié	4/13 (NS)	/
		oïdié / oïdié traité sur moût	6/13 (NS)	/

Tableau 4 : Dégustation des vins, tests triangulaires, réseau parcellaire Avize - Oger - Hautvillers

Des tests de préférence vont être effectués sur les vins champagnisés, pour compléter les informations apportées par les tests triangulaires. Ce test consiste à reclasser à l'aveugle des vins oïdiés parmi une série de vins sains. Le rang de classement de chaque vin est moyenné pour l'ensemble du panel de dégustateurs puis interprété par un test statistique approprié.
Des profils sensoriels adaptés à la description des vins issus de raisins très oïdiés permettront de mieux caractériser le profil aromatique et la structure en bouche de ce type de vin. Par exemple, les caractères gras et huileux d'un vin oïdié sont des descripteurs cités par la littérature pour le cépage chardonnay (Stummer *et al.*, 2004).

En 2006, l'étude de l'effet des traitements œnologiques comparé au tri à la parcelle est abandonnée, suite aux résultats de 2004. Trois parcelles ayant fait l'objet d'essais bandes de comportement, ont été choisies parce qu'elles offraient la possibilité de rentrer des raisins sains, comparés à des raisins oïdiés.

Pour finir, l'exploitation des informations relatives à la nuisibilité de l'oïdium sur vin ne consiste pas à faire récolter allègrement du raisin oïdié, mais à relativiser les dégâts d'oïdium les plus courants : si l'on prend pour exemple le réseau Magister en 2006, moins de 5 % du volume de récolte était touché début véraison sur 80 % des parcelles présentant des symptômes d'oïdium sur grappes. Par ailleurs les dégâts diminuant de début véraison à la vendange, ces parcelles présentaient vraisemblablement un état globalement sain aux vendanges.

Classe d'intensité d'attaque (I)	Nombre de parcelles par classe d'intensité d'attaque	% de parcelles par classe d'intensité d'attaque
$I \leq 1$ %	55	33
$1 < I \leq 5$ %	81	49
$5 < I \leq 10$ %	15	9
$10 < I \leq 20$ %	10	6
$I > 20$ %	5	3
TOTAL	**166**	-

Tableau 5 : Répartition des parcelles avec symptômes sur grappes début véraison 2006, réseau Magister

Pouvoir tolérer des dégâts confère une certaine marge de manœuvre en matière de stratégie de lutte. L'impact quantitatif et qualitatif sur la récolte des maladies et parasites est par ailleurs véritablement le juge de paix, en matière de protection raisonnée.

PERSPECTIVES EN MATIÈRE DE STRATÉGIE DE CONTRÔLE DE L'OÏDIUM EN CHAMPAGNE

L'objectif de la stratégie de protection consiste d'abord aujourd'hui à éviter les dégâts d'oïdium sur grappes. Toutefois, en cas de symptômes sur grappes, les premières expérimentations destinées à comprendre la nuisibilité de l'oïdium conduisent à relativiser la gravité des attaques les plus fréquentes, et ne légitiment pas des pratiques de traitement intensives. Les essais consacrés à la nuisibilité de l'oïdium seront poursuivis.

La mise en place d'essai «à fenêtre » depuis 2004 vise, via des références champenoises récentes, à sensibiliser les opérateurs sur la période de protection la plus critique. L'expertise de l'équipe de spécialistes de l'INRA de Bordeaux et des collègues des régions méridionales, confortée par nos observations nous a conduits à privilégier dans notre expérimentation la période floraison-nouaison, en tant que période majeure dans une épidémie d'oïdium, plutôt que le début de protection.

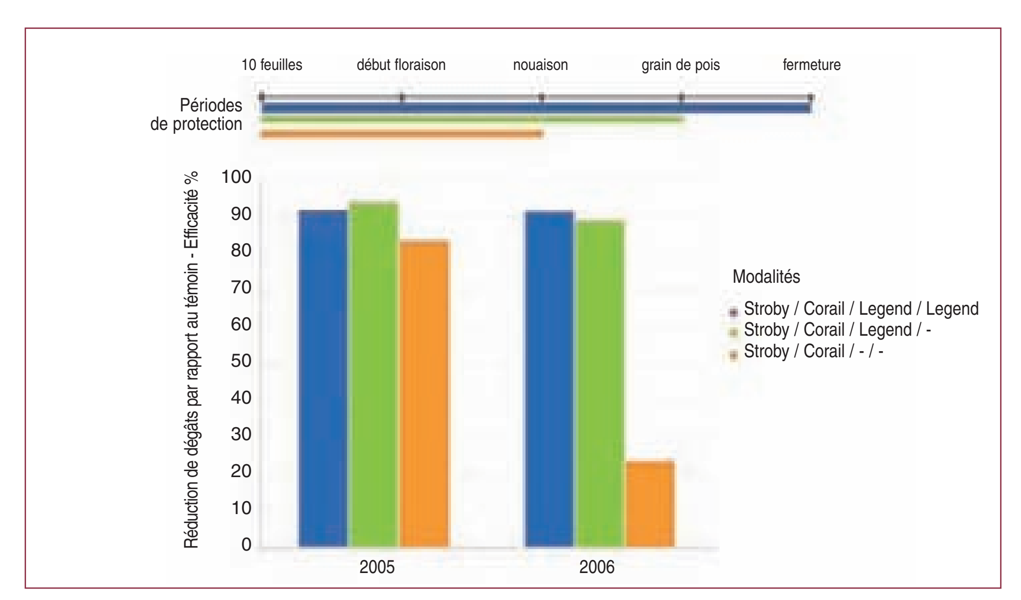


Figure 4 : Résultats essai « à fenêtre », Oger, notations sur grappes début véraison
Effectivement, l'essentiel de l'évolution de l'épidémie se fait sur la période floraison à grain de poids en 2005 et 2006 sur le site d'essai, et pas sur la période antérieure au stade 10 feuilles.

Les recommandations de protection sont toujours basées sur les références d'essais « à fenêtre » de la Protection des Végétaux, avec une anticipation au stade 7/8 feuilles dans les parcelles à historique oïdium. En cas de défaut de protection sévère, l'accent est mis avant tout sur l'amélioration de la qualité de pulvérisation.

Enfin, des outils de prévision sont en cours de validation. L'objectif consiste à cerner le profil de l'année le plus tôt possible, c'est-à-dire avant la floraison, pour ménager aux opérateurs la possibilité de contenir l'épidémie au moment où il existe encore une marge de manœuvre. Ainsi, en cas d'année à risque, l'objectif est de conseiller au cas par cas des resserrements de cadences, voire un traitement intercalaire fin floraison-nouaison, pour éviter la multiplication des interventions tardives à partir de la mi-juillet.
Pour ce faire, l'observation précoce de la maladie sur le feuillage est désormais intégrée dans les réseaux de lutte raisonnée. La gravité de la maladie, à l'échelle de la parcelle, est conditionnée par la précocité et le nombre de foyers sur feuilles, d'après l'équipe spécialiste de l'oïdium de l'INRA de Bordeaux. Ce principe est extrapolé au vignoble : la fréquence de parcelles concernées ainsi que la fréquence de foyers sur feuilles avant la fleur, constitueraient un indicateur de risque.

Depuis la campagne 2006 les premières observations portent dès le stade 5/6 feuilles sur un réseau de parcelles à historique oïdium, le plus souvent hors réseaux de lutte raisonnée. Les observations spécifiques sont ensuite réalisées sur les parcelles des réseaux en pré-floraison, particulièrement si l'année s'avère sensible. Identifier une année à risque est de fait plus facile que le contraire.
Les résultats sont couplés à la tendance donnée par le modèle Potentiel Système. Ce schéma d'organisation doit être calé sur plusieurs campagnes.

L'oïdium passe pour une maladie très difficile à maîtriser, et le niveau d'exigence des vignerons champenois est très élevé, en terme d'état sanitaire de la récolte, vis-à-vis de cette maladie en particulier. L'objectif de cette stratégie globale de lutte contre l'oïdium consiste d'abord à sécuriser les pratiques, donner le sentiment de maîtrise aux viticulteurs et techniciens-conseils, avant d'aller plus loin dans la tolérance de la maladie, préalable indispensable à la limitation des intrants.

BIBLIOGRAPHIE

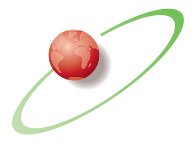
Collet L., Magnien C., Boyer J., Muckensturm N., Doublet B., Martinet C., Guéry B., Le Gall D., Retaud P., Toussaint P., Bertrand P, Defaut K. 1998. Raisonnement de la lutte contre l'oïdium de la vigne. Quelles périodes protéger en priorité ? Phytoma, 504, 50-55.

Speich P., Bourgouin B. et Blanc M. Raisonner les interventions et gérer les spécialités disponibles. 2001. Phytoma, 535, 24-27.

Darriet P., Pons M., Henry R., Dumont O., Findeling V., Cartolaro P., Calonnec A. and Dubourdieu D. 2002. Impact odorants contributing to the fungus type aroma from grape berries contaminated by powdery mildew (Uncinula necator) ; incidence of enzymatic activities of the yeast Saccharomyces cerevisiae. Journal of agricultural and food chemistry, 50, 3277-3282.

Calonnec A., Cartolaro P., Poupot C., Dubourdieu D. and Darriet P. Effects of Uncinula necator on the yield and quality of grapes (Vitis vinifera) and wine. 2004. Plant pathology, 53, 434-445.

Stummer B., Scott E., Markides A., Clarke S., Francis L. and Wicks T. 2004. Effects of powdery mildew on wine quality. Fungal contaminants and their impact of wine quality, final report to grape and wine research & development corporation, Australia, 23-34.



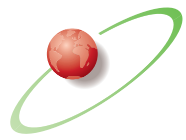
Évolution de la réglementation concernant la mise en œuvre des produits phytosanitaires : les moyens de s'adapter

Thierry COULON
Directeur Technique ITV France
39, rue Michel Montaigne - 33290 BLANQUEFORT

Le dispositif réglementaire annexé à l'arrêté du 12 septembre 2006 relatif à la mise sur le marché et à l'utilisation des produits antiparasitaires à usage agricole n'étant pas complètement mis en place à la date d'impression des Actes du Colloque Mondiaviti, nous ne sommes pas en mesure d'insérer dans ces Actes, la note nationale « Préparation des bouillies et gestion des effluents phytosanitaires » dont la publication se trouve retardée.

Ces dispositions complémentaires concernant en particulier des dispositifs de traitement d'effluents phytosanitaires devraient intervenir d'ici la fin 2006.

Dès que ces mesures seront connues, ITV France assurera une large diffusion de la note nationale évoquée ci-dessus.



Chapitre II

Stratégie d'entretien des sols : contraintes techniques, économiques et environnementales

Intérêt et limites des solutions alternatives

au désherbage chimique sur le rang

Christophe GAVIGLIO
ITV France - V'innopôle - BP 22 - Brames-Aïgues - 81310 LISLE SUR TARN

Le désherbage chimique sur le rang présente bien des avantages : aucun système d'évitement des souches n'est nécessaire, le matériel employé pour pulvériser les herbicides est simple et généralement peu onéreux. Cependant, dans un contexte où la viticulture est montrée du doigt comme une grande consommatrice de biocides, il est urgent d'apprendre à entretenir ses vignes différemment, en utilisant moins, voire plus du tout de produits chimiques. Les vignes entretenues de manière traditionnelle avec buttage, débuttage n'ont pas ce problème mais cette technique n'est pas applicable partout et des itinéraires simplifiés de culture sont envisageables avec les matériels d'aujourd'hui. Pour cela différentes techniques existent, à commencer par le désherbage mécanique. Nous nous intéresserons au désherbage sur la ligne des souches, qui demande plus de technicité et de réglages que le simple entretien mécanique de l'inter-rang, même si ce dernier n'est pas toujours simple. Il existe aussi des matériels qui permettent d'appliquer moins de produit, en ne pulvérisant qu'en cas de détection de mauvaise herbe.

APPROCHE TECHNIQUE DES MATÉRIELS DE DÉSHERBAGE INTERCEPS, QUELLES SONT LES SOLUTIONS ALTERNATIVES ?

La suppression complète des herbicides n'est possible qu'avec des outils réalisant un désherbage mécanique ou thermique. La réduction de la quantité d'herbicides appliquée est réalisable avec toutes les rampes de désherbage chimique équipées pour faire du désherbage par tâches que cela soit automatisé par un détecteur ou non.

Les solutions mécaniques

Le principe de base du désherbage mécanique sous le rang est de créer et maintenir une bande de terre meuble sur laquelle il est facile d'intervenir en entretien.
Un outil de désherbage mécanique est composé d'un porte-outil adaptable sur un cadre ou entre les roues du tracteur. Ce porte-outil, équipé du système d'effacement devant la souche peut recevoir différents types d'outils qui ne s'utilisent pas tous au même moment ou dans les mêmes conditions de sol.

Les différents systèmes d'effacement devant la souche

Il existe plusieurs solutions pour contourner le cep lors du travail. Le principe est de détecter le pied de vigne et de transmettre l'ordre à la machine de s'effacer. La détection se fait par un capteur appelé « palpeur », « pare-cep » ou « antenne » qui transmet un signal de façon mécanique, électrique ou hydraulique et agit sur le système de contournement. Certaines machines fonctionnent en utilisant uniquement la force d'appui sur la souche, amplifiée par un parallélogramme déformable, pour se retirer (photo 1). Enfin, il existe un système d'appui sur la souche avec une cloche en caoutchouc qui protège le cep des pièces en mouvement et qui permet le contournement (cf. photo 4). Ce principe présente l'avantage d'assurer un désherbage au plus près des souches, mais il limite la vitesse d'avancement car plus celle-ci est élevée, plus l'inertie est grande et plus les chocs sont fréquents.



Photo 1 : Système d'effacement mécanique sur Décalex Souslikoff

Les différents types d'outils et leur impact sur le sol

Les lames travaillent en déplaçant très peu de terre. Leur action se limite au sectionnement des racines des adventices. Si on les équipe d'ailettes de fractionnement, la bande de terre soulevée est désolidarisée des adventices et la durabilité du désherbage est améliorée. Leur efficacité est conditionnée par un ameublissement préalable de la zone de terre concernée et par une vitesse de travail suffisante. En effet l'impact mécanique sur la terre et sur les adventices est meilleur à vitesse plus élevée (jusqu'à 6 km / h dans de bonnes conditions). Le fonctionnement des lames ne nécessite pas ou peu d'hydraulique.



Photo 2 : Lame intercep Clemens, système d'effacement hydraulique

Les outils rotatifs travaillent selon la forme des couteaux qui les équipent. On distingue les bineuses rotatives (houes) et les herses rotatives. Ces dernières sont efficaces en association avec une lame intercep simple pour fragmenter la bande de terre soulevée. Les herses permettent aussi d'entretenir une zone de terre déjà meuble. Les houes rotatives peuvent être utilisées pour un premier passage comme en entretien car leur pouvoir pénétrant est plus important. La présence de cailloux peut gêner leur progression voire entraîner des blocages s'il y a de gros éléments. Ces outils entraînent des projections de terre dans l'inter-rang Ils sont animés par des moteurs hydrauliques qui demandent parfois un débit trop important pour l'hydraulique du tracteur. L'équipement avec une centrale hydraulique est alors nécessaire. La vitesse de passage de ces outils n'excède pas 3, 5 km/h.

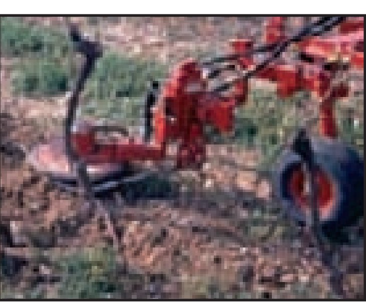


Photo 3 : Houe rotative Starmatic Boisselet



Photo 4 : Tournesol Pellenc

Les décavaillonneuses sont utilisées dans les façons culturales traditionnelles de buttage et débuttage. Dans les vignobles pour lesquels la protection du bourrelet de greffage n'est pas indispensable, on peut les utiliser de façon plus superficielle à des fins de désherbage. Elles retournent une mince couche de terre, mettant à nu les racines des adventices et enfouissant leurs parties végétatives, assurant un désherbage efficace. Il faut prendre en compte le déplacement de terre vers l'inter-rang dans la suite de l'entretien et prévoir un passage spécifique pour renvoyer la terre sous le rang à l'aide d'un disque ou d'un soc versoir par exemple. Exemple chez Souslikoff : Décalex puis Buttalex.



Photo 5 : Décavatic Boisselet

Les options intéressantes

Les outils interceps peuvent être équipés de commandes ou d'accessoires rendant leur travail plus efficace, plus complet ou plus facile. On peut citer les suivants :

- **Cure cep :** situé en retrait de l'outil, il intervient après le travail de celui-ci et vient fractionner la zone de terre non travaillée autour de la souche laissée par le réglage du pare-cep. Equipé d'un ressort de rappel dont la dureté peut être réglable, c'est une bonne solution pour nettoyer le contour des souches. (photo 6)
- **Centrage automatique :** pour le travail avec un tracteur interligne c'est un avantage non négligeable car cela évite les erreurs de déport latéral et soulage l'attention du chauffeur. (cf. palpeurs Pellenc Photo 4)
- **Sécurité, alarme accrochage :** plusieurs types de sécurités existent pour éviter l'accrochage et le sectionnement des ceps en cours de travail. Les plus basiques, sur les socs de décavaillonneuses légères, consistent en une articulation qui permet un escamotage en cas de résistance forte à l'avancement (sur souches de fort diamètre, bien établies). D'autres systèmes détectent une résistance anormale et déclenchent une alarme qui permet à l'opérateur de s'arrêter.
- **Evitement ou forçage manuel :** ce sont des commandes destinées au désherbage de parcelles particulièrement difficiles (souches tordues, enherbement important). Elles permettent par exemple de forcer l'outil à rentrer sous le rang même si le pare-cep provoque son retrait en raison d'une trop forte densité d'herbe. L'inverse est possible pour éviter une souche que le pare-cep aurait détecté trop tard (souche penchée).
- **Réglages de largeur, profondeur commandés électriquement ou hydrauliquement :** il s'agit d'options de confort, utiles pour s'adapter rapidement à des parcelles différentes.



Photo 6 : Cure-cep monté derrière Décalex Souslikoff

Réglages importants

Largeur de travail, centrage sur le rang. Ces deux paramètres sont plus importants lorsque l'on travaille avec un tracteur interligne. En effet, cela permet d'assurer le bon croisement sur la ligne des souches de la zone de travail des outils. Le travail avec un tracteur enjambeur ou un châssis enjambeur tracté (exemple Acolyte Boisselet) permet d'être plus précis pour l'utilisation des interceps.

Profondeur : détermine le volume de terre travaillé ou déplacé et la résistance à l'avancement. Plus l'outil travaille profondément, plus il lui est difficile de rentrer sous le rang et plus la vitesse d'avancement sera limitée.

Position et sensibilité du pare-cep : pour une meilleure protection du cep, il est préférable de placer l'antenne le plus près possible du sol. Ainsi, on évite qu'une souche penchée soit détectée trop tard. Cette position du pare cep permet aussi de limiter la zone non travaillée autour des souches et donc d'améliorer le désherbage. La sensibilité de l'effacement est à ajuster en fonction de la vigueur des souches, de la vigueur des adventices et de la vitesse de passage souhaitée. Cependant, la règle pour travailler avec des interceps, même avec une sensibilité de déclenchement élevée, est soit d'avoir des souches bien établies, soit de mettre en place des tuteurs solides.

Vitesse d'avancement : c'est le paramètre qui a le plus d'incidence sur le résultat final. Les essais montrent qu'au-delà de 3 km/h pour les outils rotatifs le taux de souches blessées augmente et l'efficacité de désherbage est moins bonne. En effet, il faut une réactivité importante à vitesse supérieure pour que l'outil puisse bien rentrer sous le rang. Pour les décavaillonneuses la vitesse doit être limitée en raison des risques d'accrochage.

Les stratégies de désherbage mécanique sous le rang

L'élaboration d'une stratégie de désherbage mécanique prend en compte la succession d'outils possible lors de la saison et le temps disponible en fonction des contraintes météo. L'objectif est d'obtenir une efficacité correcte, tout en limitant le nombre de passages et leur durée. Pour cela, il faut bien choisir le moment du premier passage. Il va être déterminant pour obtenir une bande de terre meuble à entretenir par la suite, mais aussi pour gérer la flore adventice et éviter d'avoir à faire un deuxième passage rapproché. Les critères à prendre en considération pour démarrer la campagne de désherbage sont :

- **l'état du sol :** l'idéal se situe après une petite pluie, lorsque le sol est suffisamment ressuyé mais frais. Les outils rentrent facilement dans la terre et leur action n'est pas gênée,
- **l'avancement de la flore adventice :** il s'agit de ne pas intervenir trop tard car on peut être confronté à des problèmes de bourrage, mais pas trop tôt non plus car il faut en général recommencer très rapidement, la météo à trois jours pour intervenir à une période où les adventices retournés sont susceptibles de se dessécher rapidement,
- **la météo à trois jours** pour intervenir à une période où les adventices retournés sont susceptibles de se dessécher rapidement,
- **la nature de la flore initiale :** les vivaces sont disséminées avec les outils rotatifs.

Pour obtenir une bande de terre meuble sous le rang, il faut commencer le travail par des outils ayant un impact relativement fort : outils rotatifs ou décavaillonneuses. L'entretien dans la saison peut être réalisé soit avec des lames interceps soit avec des outils rotatifs. Les lames permettent de travailler rapidement et d'obtenir une bonne efficacité mais sur adventices très peu développés, ce qui peut entraîner des passages plus nombreux. Les outils rotatifs sont plus lents mais ils peuvent intervenir un peu plus tard, limitant le nombre total de passages.

C'est la combinaison de ces choix, en fonction de la météo et de la disponibilité pour observer et intervenir qui définit la stratégie et le coût final.

A quel coût ?

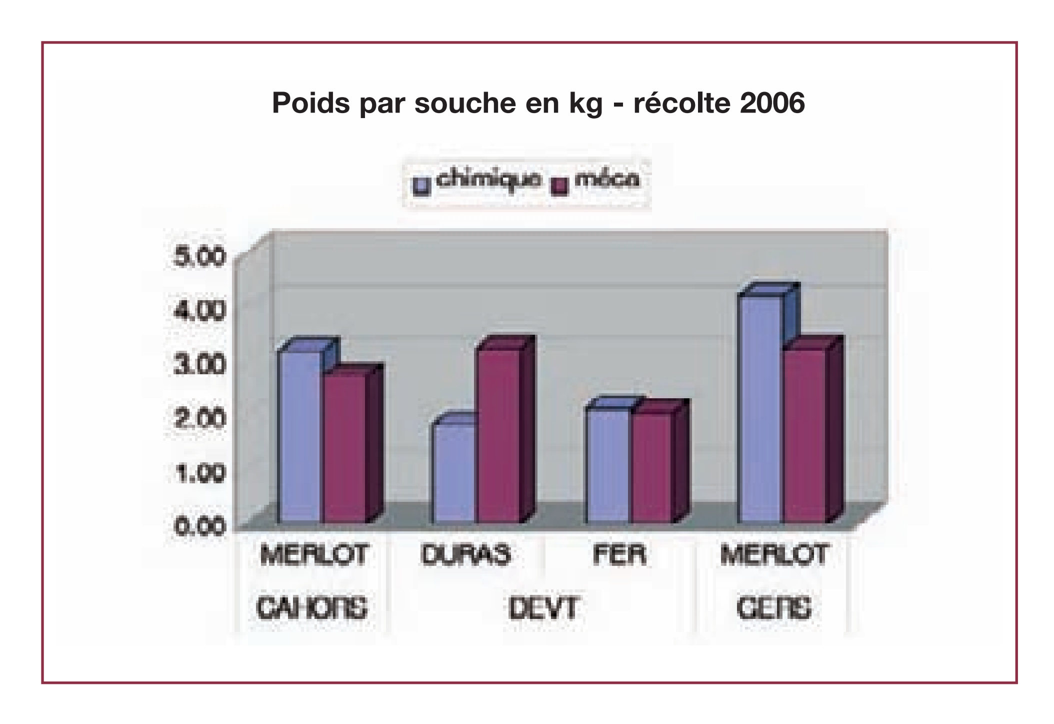
Le coût du désherbage mécanique est très lié au coût initial du matériel et au nombre de passages nécessaire pendant la saison. Le coût variable lié aux pièces d'usure dépend beaucoup de la nature du sol. Les outils rotatifs consomment naturellement plus de pièces. Le coût des intrants est nul mais il y a les consommables et il faut prendre en compte l'investissement matériel et surtout le temps passé. **Voici à titre indicatif quelques chiffres, valables uniquement pour le désherbage du cavaillon et dans le cas de figure décrit ci dessous.**

Exploitation 20 ha, plantée à 2 m x 1 m (soit 5 km / ha). La surface désherbée chimiquement correspond à un tiers de la surface environ (le cavaillon). Le désherbage est fait avec un pré et un post levée. Le matériel est amorti sur 7 ans. L'investissement de départ est très variable, de 2000 à plus de 10000 euros selon qu'il y ait une centrale hydraulique ou pas par exemple.

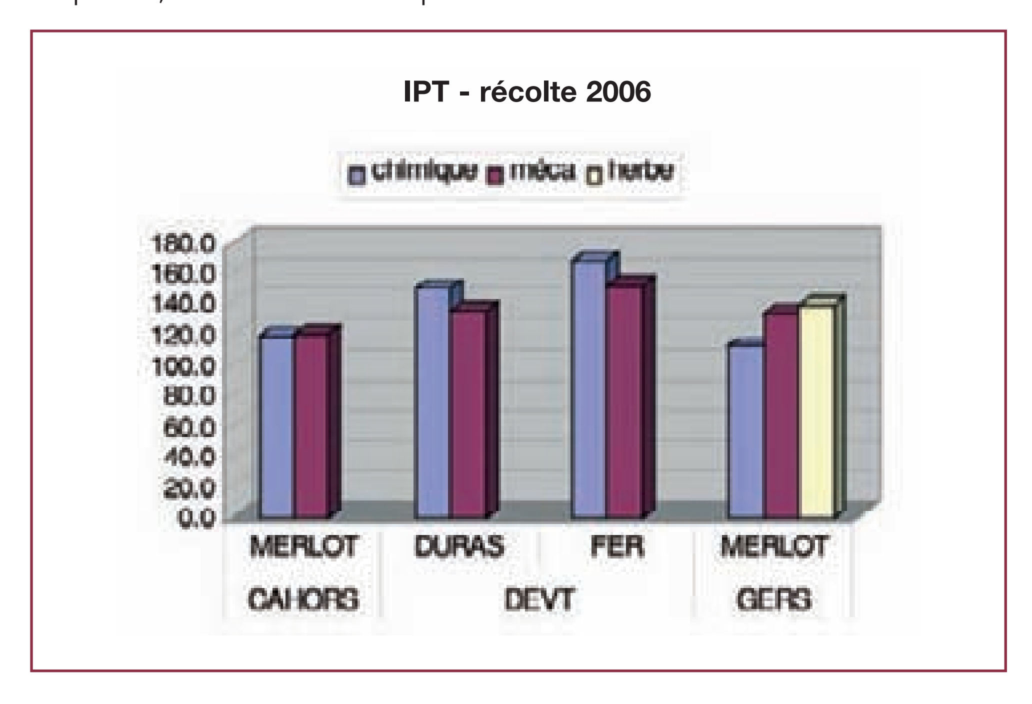
	Chimique	Mécanique
Prix d'achat du matériel	2000 €	3500 €
Coûts fixes par an	195 €	340 €
Nombre de passages	2	3 à 4
Temps passé par an	48 h	88 à 112 h
Traction (10 € /h)	480 €	880 à 1120 €
Main-d'œuvre (11 € /h)	528 €	968 à 1232 €
Produits par ha	95 (75+20) €	0
Total par an	2908 €	2188 à 2692 €
Total par ha	**145 €**	**110 à 135 €**

Quels sont les effets de la technique sur la vigne ?

Les effets d'un désherbage mécanique sur la ligne des souches sont liés à la présence ou non de radicelles en surface et à leur possible destruction par les façons culturales. Ils peuvent également être liés à la modification des échanges du sol avec l'atmosphère puisqu'il y a un état de surface différent. Pour connaître tous les impacts, il faut plusieurs années d'observation et de suivi mais voici les premiers résultats issus de nos expérimentations.



En dehors d'un cas, sur Duras, une chute de rendement est observée sur les rangs travaillés mécaniquement par rapport aux rangs désherbés chimiquement. L'hypothèse la plus probable est que les radicelles de surface ont été sectionnées, privant la plante d'une partie de son alimentation. Les années d'observations suivantes nous dirons si le réseau racinaire se reconstitue plus en profondeur avec pour conséquence un retour à des niveaux de rendement comparables, ou si cette tendance se poursuit.



En ce qui concerne les résultats analytiques, les résultats les plus intéressants sont observés sur les polyphénols ou le niveau d'anthocyanes. Ils sont à prendre avec précaution et seront suivis sur plusieurs années avant de tirer des conclusions.

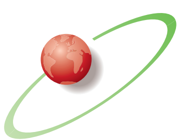
Le désherbage thermique

Il est réservé aux sols ayant une problématique de désherbage particulière : sols peu profonds, parcelles en coteaux sensibles à l'érosion. Efficace, la technique est cependant consommatrice de gaz et demande à être bien maîtrisée pour éviter les phénomènes de brûlure sur les raisins. Les derniers développements en la matière chez les constructeurs montrent que ce phénomène peut être maîtrisé.

CONCLUSION : INTÉRÊT ET LIMITES, PERSPECTIVES

Les solutions alternatives au désherbage chimique sur le rang se déclinent en un panel de matériels assez large, des plus basiques aux plus complexes, permettant de bien maîtriser la flore adventice et de s'adapter à beaucoup de situations. Toutefois, dans quelques cas, ces solutions montrent leurs limites : sol trop superficiel en coteau, présence de cailloux importante, plantiers, et surtout temps disponible à une période ou la charge de travail est concentrée sur les traitements.

Face au désherbage chimique qui présente un coût encore compétitif, il faut imaginer des solutions combinées permettant d'appliquer moins d'herbicides et permettant aussi d'apprendre à gérer le désherbage mécanique en fonction de ses contraintes propres. Les efforts des fabricants de matériels peuvent encore apporter plus de précision, plus de réactivité pour une efficacité plus grande à vitesse plus élevée. D'autres pistes sont à explorer, telles que le désherbage électrique par exemple, qui doit résoudre pour être fonctionnel les problèmes de sécurité, d'énergie à embarquer, et qui doit faire la preuve de son bilan environnemental.



Impact des modes d'entretien de la vigne sur le ruissellement, l'érosion et la structure des sols

Mécanismes et résultats expérimentaux

Yves LE BISSONNAIS et Patrick ANDRIEUX
INRA - Laboratoire d'étude des Interactions Sol-Agrosystème-Hydrosystème, UMR LISAH AgroM INRA-IRD - Place Viala - 34060 MONTPELLIER CEDEX 1

I. PROBLÉMATIQUE, DÉFINITIONS ET MÉCANISMES

L'érosion des sols est de plus en plus considérée comme un problème environnemental important. Cette prise de conscience se traduit aujourd'hui par deux mesures importantes : au niveau national, la loi sur les risques naturels (Décret du 12 février 2005) impose aux préfets de délimiter dans chaque Département les zones d'érosion des sols agricoles, et d'établir un programme d'actions visant à réduire l'érosion, dont la première mesure concerne la couverture végétale du sol ; au niveau européen, le projet de directive sur la protection des sols (22/09/2006) prévoit le recensement des zones exposées à un risque d'érosion (article 6), et la mise en place de mesures destinées à lutter contre l'érosion (article 8). L'évaluation régionale de l'aléa érosion des sol réalisée à l'échelle de la France (Le Bissonnais *et al.*, 2002) indique que les sols des régions viticoles seront particulièrement concernés par ces mesures réglementaires.

L'érosion hydrique des sols se développe lorsque les eaux de pluie, ne pouvant plus s'infiltrer dans le sol, ruissellent sur la parcelle en emportant les particules de terre. Ce refus du sol d'absorber les eaux en excédent apparaît soit lorsque l'intensité des pluies est supérieure à l'infiltrabilité de la surface du sol **(ruissellement « Hortonien »)**, soit lorsque la pluie arrive sur une surface partiellement ou totalement saturée par une nappe **(ruissellement par saturation).** Ces deux types de ruissellement apparaissent généralement dans des milieux très différents, bien que l'on observe parfois une combinaison des deux. Une fois le ruissellement déclenché sur la parcelle, l'érosion peut prendre différentes formes qui se combinent dans le temps et dans l'espace : **l'érosion de versant diffuse ou en rigoles parallèles** et l'érosion linéaire ou concentrée de talweg.

Les facteurs de l'érosion devant être pris en compte pour étudier les phénomènes érosifs font maintenant l'objet d'un consensus et regroupent les caractéristiques du sol, l'occupation du sol, la topographie et le climat (Le Bissonnais *et al.*, 2002). **Les paramètres de l'érosion** sont les différentes informations qui peuvent permettre de caractériser chacun des facteurs de l'érosion. Par exemple, la pente est un paramètre pouvant caractériser le facteur topographie, de même que le dénivelé, l'altitude moyenne, etc.

Typologie des phénomènes érosifs

Les processus érosifs prennent des formes différentes selon les facteurs (sol, occupation du sol, topographie et climat) prédominants dans la zone géographique concernée.
En **érosion de vignobles,** on peut distinguer plusieurs types de fonctionnements érosifs qui correspondent à des gestions différentes des inter-rangs :

- Lorsque les parcelles sont conduites sans travail avec un entretien chimique du sol, celui-ci se tasse progressivement sous les passages successifs des roues et sous l'influence des phénomènes de battance, ce qui provoque une imperméabilité croissante. Sur ces surfaces fermées et tassées, le ruissellement se déclenche pour des pluies d'assez faible intensité. L'eau se concentre dans chaque inter-rang et acquiert ensuite une vitesse suffisante pour creuser

rigoles et ravines : **c'est l'érosion par concentration de ruissellement.** Ces incisions sont encore favorisées par la destruction de la végétation herbacée en bas de parcelle et dans les talwegs, destruction liée à l'entraînement d'herbicides utilisés pour maîtriser les mauvaises herbes. Les incisions ne sont pas effacées puisque le sol n'est pas travaillé ; elles facilitent ultérieurement la concentration du ruissellement. La résistance du sol au détachement et à l'incision est relativement élevée du fait du tassement du sol. Des écoulements boueux catastrophiques peuvent alors survenir à l'aval de ravines qui produisent le gros de la terre transportée.

- Dans les parcelles dans lesquelles le contrôle des adventices est réalisé par **entretien mécanique** (plusieurs labours au printemps - début été), on peut observer une **érosion par décapage d'un sol ameubli.** L'intensité de l'érosion est ici liée à la forte érodibilité du sol régulièrement ameubli. Le seuil d'intensité de la pluie au-delà duquel le ruissellement se déclenche est relativement élevé, car l'ameublissement du sol favorise le maintien d'une bonne infiltrabilité. Par contre, sous une **pluie de très forte intensité,** le ruissellement entraîne facilement le sol ameubli et provoque des écoulements boueux catastrophiques plus en aval. L'érosion est aggravée par la pente, souvent importante dans les vignobles de coteau (15 à 20 %).
- Les deux types d'érosion de vignoble peuvent se succéder ou se **juxtaposer dans l'espace,** en fonction du mode de conduite des parcelles. En effet, les différentes pratiques d'entretien du sol coexistent souvent dans un même secteur. Par rapport aux risques érosifs, leurs combinaisons le long d'un même versant sont plus ou moins heureuses :
  - lorsque la parcelle tassée (émettrice de ruissellement) est située en amont et la parcelle ameublie en aval, les risques sont augmentés,
  - inversement, lorsque la parcelle ameublie est située en amont, elle retarde l'apparition du ruissellement, et le sol de la parcelle tassée en aval a une bonne résistance à l'incision. Cette combinaison réduit les risques d'apparition d'écoulements boueux.

Les facteurs et processus déclenchant de l'érosion

En plus des caractéristiques des pluies à l'origine du ruissellement, les facteurs de l'érosion mentionnés ci-dessus se combinent pour conduire à des situations à risque : l'occupation des sol, la taille des parcelles et leur localisation dans le paysage agricole ont une grande importance de même que les pratiques et aménagements anti-érosifs ; lorsque les sols sont peu couverts, les pentes et la sensibilité à la battance interagissent : risques essentiellement sur pentes fortes lorsque la sensibilité à la battance des sols est faible, mais risques aussi sur pentes faibles pour des sols plus battants (faible stabilité structurale).

De manière générale, il est clairement démontré par de nombreux essais que les pratiques d'entretien des sols qui visent à maintenir une couverture du sol la plus complète possible dans le temps et l'espace (mulch ou engazonnement) limitent la dégradation de la structure des sols et réduisent significativement les risques de ruissellement et d'érosion (Litzler, 1988).

Il existe cependant une assez forte variabilité de l'ampleur de l'efficacité de ces pratiques (aussi bien entre essais qu'entre années pour un essai donné), que l'on peut tenter d'analyser au travers de la prise en compte des mécanismes en jeu : dégradation de la structure et formation d'une croûte de battance par la pluie conduisant à une réduction de l'infiltrabilité, tassement par le passage des engins, détachement de particules par l'impact des gouttes de pluie, arrachement et incision du sol par la force du ruissellement,… , en gardant en mémoire que l'érosion est le produit d'un ruissellement par une charge solide, et que ces deux termes peuvent être influencés de manière contradictoire par un facteur donné. La réponse à un paramètre peut donc être complexe, non linéaire et s'inverser selon le domaine considéré.

Le travail du sol et l'érosion

La pratique traditionnelle d'entretien par le travail du sol, présente l'avantage de générer une porosité et une rugosité de la surface du sol qui favorisent, d'une part l'infiltration, et d'autre part la détention superficielle de l'eau et le ralentissement du ruissellement éventuel. Cependant, l'ampleur de cet effet est variable en fonction des outils utilisés et des conditions de travail, et sa durabilité est également variable selon les caractéristiques des pluies et la stabilité structurale des sols. Ainsi un travail grossier réalisé dans de bonnes conditions d'humidité pour un sol argileux stable a toutes les chances de rester très perméable toute la saison culturale, alors qu'à l'autre extrême, un travail produisant une structure très fine dans un

sol limoneux battant pourra se dégrader et devenir quasi-imperméable à l'issue d'une seule pluie de forte intensité. On doit donc logiquement observer **une grande diversité de comportements érosifs** pour cette pratique, avec une tendance de faible érosion (par absence de ruissellement) d'autant plus qu'on est dans des situations juste après travail, pour les sols peu battants, les faibles pentes et en cas de pluies d'intensité modérée, mais un risque d'érosion **très fort** (effet de seuil) dans les situations inverses, du fait de l'ameublissement du sol.

Le désherbage chimique et l'érosion

L'effet du désherbage chimique total est relativement plus simple à analyser dans la mesure où les propriétés de surface résultantes sont plus homogènes et plus stables : le sol reste normalement en permanence nu, avec une faible rugosité, compacté par le passage des engins et présente donc une infiltrabilité et une capacité de détention superficielle de l'eau réduites, ce qui augmente fortement les risques de ruissellement même pour des pluies relativement faibles. Par contre, la résistance du sol à l'arrachement par le ruissellement peut être importante et limiter l'érosion. On peut donc avoir un effet contradictoire sur les deux termes de l'érosion. Cependant le ruissellement a le plus souvent un poids dominant et de plus le ruissellement généré peut atteindre une parcelle plus sensible à l'arrachement et conduire à une érosion catastrophique. Cette modalité d'entretien qui s'est beaucoup développée à partir des années 60 est aujourd'hui fortement remise en cause pour des raisons environnementales (contaminations des eaux par les produits phytosanitaires et en particulier les herbicides) et tend à évoluer vers des pratiques d'enherbement naturel maîtrisé (par un désherbage chimique partiel, ou un travail du sol).

L'engazonnement et l'érosion

L'engazonnement des inter-rangs est une pratique qui s'est développée ces dernières années en réponse aux préoccupations environnementales. Le couvert protège les sols à faible stabilité structurale contre la battance et empêche la mise en mouvement de particules par effet splash (rôle d'écran protecteur). Il s'oppose à la concentration du ruissellement (division des flux) et augmente l'infiltration, déjà améliorée par le développement racinaire. L'ancrage du sol par le système racinaire augmente par ailleurs sa résistance à l'arrachement par le ruissellement. A plus long terme l'engazonnement a aussi un effet sur l'amélioration de la stabilité structurale du sol, par l'augmentation de la matière organique en surface, et en particulier par l'effet des exudats racinaires.

L'engazonnement peut être total ou partiel : dans les inter-rangs destinés au passage du tracteur il améliore la portance du sol. Il peut aussi n'être que temporaire (cf. ci-dessus) afin que la vigne ne soit pas concurrencée pour l'eau ou pour réduire les risques de gelées. L'obstacle principal à la généralisation de l'engazonnement est lié aux phénomènes de concurrence pour l'alimentation en eau et en azote qui peuvent apparaître dans certaines conditions climatiques et/ou sur des sols peu épais. Cette pratique joue donc a priori un rôle bénéfique durable sur l'ensemble des mécanismes impliqués dans l'érosion hydrique et sur les deux termes de l'érosion. Plusieurs expérimentations montrent cependant qu'un certain délai peut être nécessaire pour que cette pratique montre son efficacité maximale (bonne implantation du couvert végétal) et que certaines précautions doivent être prises au moment de la mise en place de l'engazonnement pour éviter des dysfonctionnements, comme par exemple la formation d'une petite ligne d'écoulement à la limite entre rang désherbé et zone engazonnée.

Les mulchs et l'érosion

L'apport de matériaux en surface (mulch) : le rôle de ces apports qui constituent une couverture sur le sol est proche de celui de l'engazonnement. Ils favorisent, en effet, la dissipation de l'énergie des gouttes de pluie, augmentent l'infiltration de l'eau et limitent la vitesse du ruissellement comme le départ des particules de terre. Pour rester efficaces, ces apports sont à renouveler régulièrement. Cette technique est cependant de peu de secours pour maîtriser l'érosion par concentration du ruissellement en cas d'orage très violent, surtout en bas de parcelle ou de versant : les matériaux peuvent eux-mêmes être emporté par le ruissellement. Plusieurs matériaux sont utilisables : composts d'ordures ménagères, pailles, écorces. Le choix s'effectue en fonction des ressources locales disponibles et d'impacts tels ceux sur le réchauffement du sol, le risque de gelées printanières, l'apport d'azote lors de la minéralisation de la matière organique, le risque de développement de parasites et le risque de pollution des sols par les métaux lourds.

II. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

Les références disponibles sur l'effet des pratiques d'entretien sur l'érosion des sols

Une synthèse sur la maîtrise de l'érosion en vignoble de coteaux a été publiée en 1988 à l'initiative des Ministères de l'Environnement et de l'agriculture (Litzler, 1988). En plus de la description des principales pratiques d'entretien et de leurs effets, cette synthèse recense un certain nombre d'études expérimentales régionales, en particulier en Champagne et en Beaujolais. Ces dernières années, plusieurs expérimentations dans différentes régions permettent d'avoir une vision plus complète et mieux quantifiée de l'influence de des pratiques mentionnées ci-dessus sur le ruissellement et l'érosion des sols. Les résultats de ces expérimentations sont parfois difficilement comparables entre eux du fait de grosses différences méthodologiques, sur la dimension des parcelles (1 m² à plusieurs centaines de m²), la nature des pluies (naturelles ou simulées), la durée des expérimentations, le nombre de répétitions, les types de traitements appliquées, etc. Il est cependant possible de dégager les grandes lignes des tendances observées.

On présentera en particulier ci-dessous les résultats d'une expérimentation suivi pendant 4 ans par la Chambre d'Agriculture de l'Hérault et l'INRA de Montpellier pour laquelle quatre itinéraires techniques ont été mis en place. Les parcelles font environ 2000 m² pour une pente moyenne de 5 % et chaque modalité correspond à 7 rangs plantés dans le sens de la pente.

Les 4 modalités sont les suivantes :

- un **désherbage chimique total (D),**
- un **enherbement naturel maîtrisé par le glyphosate (G),**
- un **enherbement naturel maîtrisé par un travail du sol superficiel avec un cultivateur à dents de type ACTISOL (TA),**
- un **engazonnement (semis) de tous les inter-rangs (E).** Le mélange de graminées semé (40 % de ray-grass et 60 % de fétuque rouge) a été choisi par la CA34 pour minimiser les risques de compétition pour l'eau avec la vigne. Tous les rangs de vigne sont désherbés chimiquement.

Résultats

On peut distinguer, en termes d'état de surface, d'une part **les modalités D et E qui présentent des états de surface constants** tout au long du cycle cultural et, d'autre part, **les modalités G et TA, dont les états de surface vont évoluer** plus ou moins rapidement tout au long du cycle cultural suivant les opérations culturales et les événements pluviométriques.

Ruissellement

Le tableau 1 précise certaines caractéristiques des crues pour les quatre modalités étudiées.

Tableau 1 : Valeurs annuelles des hauteurs de pluie (événements > = 2 mm) et valeurs moyennes de ruissellement (lame ruisselée R et coefficient de ruissellement CR).

Année	Pluie	Désherbage		ENM Glyphosate		ENM Travail sol		Engazonnement	
		R (mm)	CR (%)	R (mm)	CR (%)	R (mm)	CR (%)	R (mm)	CR (%)
2002	348,5	143,5	41,2	100,1	28,7	53,7	15,4	73,9	21,2
2003	831,5	374,8	45,1	221,7	26,7	100,8	12,1	210	25,3
2004	435,5	119,8	27,5	86,9	20	74,2	17	22,3	5,1
2005	741	324	43,7	326,8	44,1	352,7	47,6	206,1	27,8
2002-2005	2 357	962	40,8	735,6	31,2	581,4	24,7	512,3	21,7

- La modalité D est celle qui ruisselle le plus. La valeur moyenne annuelle du coefficient de ruissellement est comprise entre 27 et 45 %. Le coefficient de ruissellement maximal 79 %, a été enregistré le 16.11.2003.
- La modalité Engazonnement est celle qui ruisselle le moins. La valeur moyenne annuelle du coefficient de ruissellement est comprise entre 5 et 28 %. Plus de 50 % des pluies n'ont pas entraîné de ruissellement. L'année 2004, avec peu d'événements à forte pluviométrie, est marquée par un faible ruissellement. Sur les quatre années de l'expérimentation, le ruissellement est toujours égal à environ la moitié de celui de la modalité D. Il est généralement inférieur aussi à celui de la modalité travail du sol, sauf pour les deux premières

années ou le ruissellement est supérieur. Ce résultat doit très certainement correspondre à la période d'installation de l'engazonnement, d'environ 2 années. D'une façon générale, *le ruissellement sur la modalité E, lorsqu'il est observé, s'explique par des écoulements importants d'eau sur la bande de terre non enherbée située entre le rang et la partie enherbée de l'inter-rang.* Cela semble dû à la largeur insuffisante de l'engazonnement dans chaque inter-rang.

- La modalité ENM Travail du sol ruisselle sensiblement plus que la modalité engazonnement. Les pluies sont rarement ruisselantes, notamment après un travail du sol. La valeur moyenne annuelle du coefficient de ruissellement est comprise entre 12 et 48 %. Plus de 50 % des pluies n'ont pas entraîné de ruissellement sur cette modalité. Les événements ruisselants correspondent à des crues ou le sol n'a pas été travaillé depuis plusieurs semaines ou mois et la surface du sol est croûtée.
- La modalité G ruisselle nettement plus que les modalités ENM TA et E. La valeur moyenne annuelle du coefficient de ruissellement est comprise entre 20 et 44 %. Le coefficient de ruissellement maximal est atteint le 16.1.2003 et il est égal à 71 %.

Matières en suspension

Les concentrations en MES ont été mesurées dans les eaux de ruissellement pour les quatre pratiques culturales. Les pertes en terre résultantes ont été calculées et sont rassemblées dans le tableau ci-dessous. Ces valeurs ne représentent pas la totalité de l'érosion, car elles n'incluent pas les sédiments déposés en fin de crue et la charge de fond entraînée lors des écoulements. Les MES constituent cependant la fraction de l'érosion directement concernée par les pertes en produits phytosanitaires entraînés par les eaux de ruissellement.

Tableau 2 : MES (en T/ha) mesurées dans les eaux de ruissellement aux exutoires des quatre modalités.

Année	Désherbage	ENM Glyphosate	ENM Travail du sol	Engazonnement
2002	7	1,7	0,4	0,6
2003	19,3	8,4	2,7	3,5
2004	2,3	1,2	0,9	0,4
2005	5,25	5,02	4,47	0,8
Moy 2002-2005	8,5	4,1	2,1	1,4

En moyenne, les quantités de MES mesurées sont comprises entre 1,4 et 8,5 T/hectare suivant les modalités.

Les valeurs faibles obtenues pour l'année 2004, sont en accord avec les caractéristiques pluviométriques de cette année : 2004 est en effet caractérisée par des pluies moins nombreuses et surtout moins intenses et donc a priori moins érosives.

Les résultats obtenus en pertes en MES entre juin 2002 et décembre 2005 sont les suivants :

- la modalité D est la plus érosive : 33,9 T/ha en MES cumulées,
- les modalités E et ENM TA sont les moins érosives : respectivement 5,4 et 8,5 T/ha, soit 16 et 25 % des pertes de D. A noter que pour 2005, année pluvieuse pour laquelle l'engazonnement est bien installé, l'érosion sur la parcelle E est près de 5 fois plus faible que sur la parcelle ENM Travail.

Pour la modalité ENM G 16,5 T/ha, soit trois fois plus que E et 50 % de D.

L'intérêt de ces résultats est qu'ils correspondent à des mesures en grandeur réelle : plusieurs rangs de vigne avec une longueur de versant >100 m, ce qui est rarement le cas, et que l'on dispose actuellement de 4 années complètes de suivi qui couvrent une bonne variabilité climatique inter-annuelle et permettent de rendre compte de l'évolution de l'efficacité des pratiques dans le temps.

Il faut noter que ces résultats correspondent au climat méditerranéen avec ses spécificités, en particulier en terme d'intensité des pluies. Les fortes intensités expliquent en particulier les coefficients de ruissellement très élevés mesurés ici : 20 à 40 % en moyenne selon les modalités, et jusqu'à 80 % à l'échelle d'une pluie pour le désherbage chimique.

En relatif, les résultats confirment les tendances habituellement relevées, à savoir un classement pour l'érosion : désherbage chimique > ENM glyphosate > ENM travail > engazonnement, avec pratiquement une division par 2 de l'érosion d'une modalité à l'autre, et un seuil de pluviométrie de déclenchement de l'érosion nettement supérieur pour ENM travail et engazonnement.

En valeur absolue on dépasse les 5 T/hectare/an 3 années sur 4 pour le désherbage chimique, 2 années sur 4 pour l'ENM glyphosate alors que ce seuil n'est pas atteint pour les 2 autres modalités (approché une année pour l'ENM travail).

On peut rapprocher ces résultats en milieu méditerranéen de 3 autres études :

1. Blavet *et al.* (2006), ont comparé différentes situations sous pluie simulée sur des placettes de 1 m², installées dans le milieu agricole.

Variables analysées		Parcelles									
		S1 (milieu agricole)				**S2** (milieu experimental)					
		Garrigue	Jachère 25 ans	Vigne DCT 21 ans sarments	Vigne DCT 4 ans	Vigne DCT 24 ans	Vigne Enherbée	Vigne Paillée	Vigne Sarclo-Dépierrée	Vigne Sarclée	Vigne Sarclo-Empierrée
Surface fermée	*avant pluie*	24	15	42	56	70	43	< 10	8	7	39
(croûtes et cailloux inclus) (%)	*après pluie*	24	15	100	100	99	87	< 10	92	76	74
Pluie d'imbibition	*(mm)*	23 ± 2,1	42 ± 0,0	9 ± 3,1	8 ± 1,0	10 ± 3,1	9 ± 4,2	53 ± 2,8	20 ± 4,8	24 ± 5,0	48 ± 15,7
Coefficient de	*à 60 mn*	49 ± 12,8	0 ± 0,0	56 ± 10,0	55 ± 11,0	48 ± 6,3	34 ± 8,1	1 ± 0,3	31 ± 11,4	9 ± 6,8	6 ± 8,8
ruissellement (%)	à 90 mn	/	/	/	/	60 ± 6,6	45 ± 8,8	9 ± 3,0	45 ± 12,0	17 ± 9,6	12 ± 13,0
Pertes en terre	*à 60 mn*	0,03	0	0,89	2,42	1,11	0,67	0	1,48	0,42	0,11
(T/ha)	*à 90 mn*	/	/	/	/	2,07	1,12	0,02	3,55	1,13	0,29

Données issues des simulations de pluie : les moyennes sont établies sur 3 répétitions pour chaque variable.

Les parcelles sous garrigue et jachère subissent des pertes en terres insignifiantes, malgré l'existence de ruissellement sous garrigue. A l'opposé, des coefficients de ruissellement et des pertes en terre élevés sont relevés dans toutes les parcelles de vignes désherbées chimiquement (S1 et S2) ainsi que dans la parcelle sarclo-dépierrée, le maximum étant obtenu en milieu agricole dans la parcelle de vigne la plus récemment mise en culture. En parallèle, on observe dans ces parcelles à fort ruissellement et pertes en terre une forte augmentation des surfaces fermées durant les pluies, due à la formation de croûtes de battance. Entre ces deux pôles de comportement, on peut toutefois noter une réduction significative du ruissellement et/ou des pertes en terre sous vigne en fonction de certaines techniques culturales : réduction sensible des pertes en terre en milieu agricole, lorsqu'il y a conservation des sarments de vigne sur la parcelle et très forte réduction du ruissellement et des pertes en terre, en milieu expérimental, dés la première année de mise en œuvre des techniques de paillage et de sarclo-empierrage ou mulch de pierres (Nachtergaele *et al.*, 1998). Le cas de l'enherbement, en situation de classement intermédiaire peut sembler étonnant, mais ceci doit être relié au fait que cet enherbement n'a pas forcément été complètement maîtrisé durant l'année de sa mise en place et que son implantation est probablement partielle (cf. le taux de fermeture de la surface mesuré), ce qui est d'ailleurs souvent le cas dans les expérimentations de courte durée. Par ailleurs, la taille réduite des parcelles de mesure et la méthodologie (simulation de pluie) limitent la portée de ces résultats.

2. Des travaux en cours issus du projet européen ProTerra (com. O. Cluzel) menés en France sur 3 sites de 2001 à 2005 (Carcassonne, Gigondas et Le Pradel) avec des comparaisons travail du sol/engazonnement contrôlé, sur des dispositifs de mesure correspondants à un rang d'environ 100 m de long, présentent des résultats intéressants avec de forts contrastes inter-annuels : années avec et sans érosion. Dans tous les cas, l'enherbement inter-rang diminue l'érosion d'un facteur 3 à 6 en moyenne, (après un délai pour l'établissement d'un couvert efficace dans les parcelles engazonnées qui est également de 2 ans), alors même que le ruissellement reste souvent du même ordre de grandeur pour les 2 modalités avec des réductions limitées à 10 à 30 %. En valeur absolue, l'érosion mesurée est plus forte que pour les études précédentes : plusieurs événements dépassent les 10 T/hectare sur les parcelles avec travail du sol à Carcassonne et Gigondas, contre des valeurs de l'ordre d'une à quelques T/ha avec engazonnement.

3. Un travail de thèse mené dans le vignoble de la Clape (Hérault) apporte des données complémentaires qui permettent aussi d'affiner l'analyse, en particulier en ce qui concerne le mode d'implantation de l'enherbement. En effet, un point de faiblesse de l'enherbement souligné dans cette étude concerne la limite entre le rang et la bordure de la zone enherbée qui peut constituer une ligne préférentielle d'écoulement et donc d'érosion, d'autant plus que cette zone peut être ameublie ; le semis à la volée est également indiqué comme préférable au semis en ligne, ce dernier contribuant à maintenir des lignes d'écoulement nues tant que le couvert n'est pas complet. Les résultats mesurés durant 2 saisons pour un enherbement en plein montrent des réductions de ruissellement de 20 à 50 % par rapport au sol travaillé lors des fortes pluies d'automne, alors que les coefficients de ruissellement dépassent souvent 35 % sur les parcelles travaillées ; du point de vue de l'érosion, la réduction est d'un facteur 7 à 22 en faveur de l'enherbement, ce dernier étant d'autant plus efficace que les pluies sont agressives (Igounet, 1997).

Dans d'autres régions de France, on citera, parmi d'autres, les travaux plus anciens de Gril et Carsoulle dans le Beaujolais (Gril *et al.*, 1989), ceux de Ballif, en Champagne (Ballif *et al.*, 1995), qui avaient en particulier testé l'effet de différents types de mulchs, avec des résultats le plus souvent très significatifs : réduction du ruissellement d'un facteur 10 par rapport au désherbage chimique et suppression quasi complète de l'érosion, pour des pluies d'intensité moyenne. Néanmoins, la durée de cet effet est limitée dans le temps et les apports sont donc à renouveler tous les 3 à 5 ans.

CONCLUSION

En conclusion, il semble que la plupart des résultats expérimentaux disponibles, dont un certain nombre correspondent à des conditions expérimentales très représentatives des conditions réelles, confirment les indications de l'analyse des processus, à savoir que vis-à-vis de la prévention du ruissellement et de l'érosion, à **l'échelle parcellaire** (nous soulignons pour indiquer que des mesures anti-érosives à d'autres échelles : inter-parcellaire et bassin-versant, sont à associer à ces pratiques d'entretien), la couverture du sol, la plus complète dans le temps et l'espace, est la mesure la plus efficace, qu'il s'agisse de mulch, de couverture pierreuse, ou de couverture végétale. L'efficacité relative de ces différentes mesures varie en fonction des caractéristiques des pluies, de l'ancienneté de la mise en place : efficacité décroissante dans le temps pour les mulchs, croissante pour l'enherbement, et pour ce dernier, des modalités de mise en œuvre : type de semis, adaptation des espèces utilisées, taux de recouvrement de l'interrang, etc. Il semble que dans beaucoup d'essais, l'enherbement ait un effet nettement plus marqué sur l'érosion que sur le ruissellement lui-même, ce qui signifie que la gestion du ruissellement excédentaire qui pourrait se produire lors de fortes pluies, par des mesures anti-érosives aux échelles inter-parcellaire et bassin-versant complémentaires des mesures intra-parcellaires doit rester une préoccupation.

Il nous paraît donc clair qu'il existe aujourd'hui des pratiques d'entretien de la vigne, et en tout premier lieu l'enherbement, dont l'efficacité pour limiter le ruissellement et l'érosion générés sur les parcelles, bien que variable selon les techniques de mise en œuvre et les conditions pédo-climatiques, est globalement démontrée (Photo).

Ces techniques, qui présentent par ailleurs souvent l'avantage d'une meilleure praticabilité des parcelles et d'une économie de travail, nous paraissent donc à promouvoir dans une optique de protection des sols et de l'environnement (limitation de l'utilisation et du transfert des herbicides), mais également à optimiser dans le cas où les effets potentiellement négatifs font encore obstacle à la généralisation de leur adoption.



Une parcelle enherbée dans le bassin de la Peyne (Hérault)

BIBLIOGRAPHIE

Ballif J. L. (1995). "Les eaux de ruissellement et d'infiltration d'un sol viticole champenois, résultats de couvertures de composts urbains et d'écorces broyées 1985-1994 (France)." progrès agricole et viticole 112 n° 24 : 534 à 544.

Blavet D., G. De Noni, Y. Le Bissonnais, M. Léonard, J.Y. Laurent, J. Asseline, E. Roose (2006). Early Stages of Hydric Erosion as affected by Land Use Changes on Calcosols (Calcic Luvisols) of the French Mediterranean Vineyard.

Carsoulle J., Canler J.P. et Gril J.J. (1986). influence de quelques techniques culturales sur le ruissellement et l'érosion en vignoble de coteaux (beaujolais). 2e symposium internationnal sur la non-culture de la vigne, Montpellier.

Corino, Lavezzi, *et al.* (2003). "L'entretien des sols viticoles : l'enherbement." progrès agricole et viticole 120, n° 6: 134 à 138.

Descotes et Moncomble D. (2002). "Les mulchs, mise en pratique et impact sur la vigne." Le vigneron champenois N° 4 avril 2002 : 33 à 52.

Gril J.J., Canler J.P. & Carsoulle J. (1989). The benefit of permanent grass and mulching for limiting runoff and erosion in vineyards. Experimentations using rainfall-simulation in the Beaujolais. Soil technology, Series 1. Schwertmann, Rickson & Auerswald (eds). P 157-166.

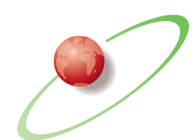
Gril J.J. (2003). "Intérêt de l'enherbement de la vigne pour limiter le ruissellement, l'érosion et la pollution par les produits phytosanitaires." progrès agricole et viticole 120 n° 6 : 130 à 133.

Igounet O. (1997). Modification des états de surface des sols viticoles par paillages artificiels et par enherbement : incidences sur le microclimat de la vigne et la conservation des sols. géographie physique. Strasbourg, université Louis Pasteur (Strasbourg 1).

Le Bissonnais Y., Thorette J., Bardet C., Daroussin J. (2002). L'érosion hydrique des sols en France. http://erosion.orleans.inra.fr/rapport2002/

Litzler, (1988). Maîtrise de l'érosion en vignoble de coteaux. Aspects agronomiques. Ministère de l'Agriculture - Ministère de l'environnement - ITV - Chambre d'Agriculture de Saône-et-Loire.

Nachtergaele J., Poesen J. & Van Wesemael B. (1998). Gravel mulching in vineyards of southern Switzerland. Soil & Tillage Research 46 : 51-59.



Impact des pratiques culturales sur la vie du sol

Pascal GUILBAULT - Chambre d'Agriculture de la Gironde, Service Vigne et Vin
39 rue M. Montaigne - BP 115 - 33294 BLANQUEFORT CEDEX

Le sol a longtemps été considéré uniquement comme un substrat minéral dans lequel les plantes plongent leurs racines. Ce n'est qu'à la fin du XIXe siècle que l'on a commencé à percevoir le sol comme un milieu vivant (DAVET, 1996). Certains organismes du sol sont considérés favorables à la culture (micro-organismes biodécomposeurs, mycorhizes…), d'autres sont perçus défavorables tels que des champignons lignivores (pourridiés) ou des nématodes vecteurs de maladies comme le court-noué de la vigne.

A défaut de pouvoir étudier l'ensemble des populations, plusieurs indicateurs de la qualité biologique des sols ont été développés. En viticulture, la Biomasse Microbienne (BM) s'est révélée être l'indicateur le plus satisfaisant et le plus accessible dans l'état actuel de nos connaissances. De plus, il autorise un suivi annuel. La BM est une mesure globale représentant une quantité de carbone « vivant » dans le sol. La méthode consiste à traiter la terre prélevée sur les 20 premiers centimètres de sol avec des vapeurs de chloroforme qui solubilisent la quasi-totalité des micro-organismes du sol. La différence de carbone organique soluble entre un échantillon fumigé et un témoin non fumigé fournit la quantité de carbone extractible d'origine microbienne (CHAUSSOD, 1996). La biomasse microbienne des sols cultivés varie entre 0 et 800 mg de carbone par kg de terre et peut dépasser 1200 mgC/kg de terre sous prairie (SALDUCCI, 2004). Dans le contexte agricole, la viticulture fait figure de parent pauvre en ce qui concerne la qualité biologique de ses sols, en raison principalement de ses faibles teneurs en matière organique, source de nourriture indispensable aux micro-organismes. D'autres facteurs tels que la destruction des plantes adventices, les taux excessifs de cuivre ou le tassement des sols peuvent également être incriminés. Ainsi, sur plusieurs centaines d'échantillons analysés depuis 7 à 8 ans par le Service Vigne & Vin de la Chambre d'Agriculture de la Gironde, la taille de la BM a rarement dépassé 200 mgC/kg de terre, la valeur médiane étant voisine de 100.

Dans le cadre de ses études sur la composante biologique des sols, la Chambre d'Agriculture de la Gironde a cherché à développer ses connaissances sur l'impact des pratiques culturales sur la biomasse microbienne, afin d'assurer un conseil approprié à la profession viticole, et participer à la mise en place de référentiels viticoles, régionaux et nationaux. Dans le cadre de cet article, nous développerons plus particulièrement les résultats obtenus sur un essai, mené en collaboration avec la société Phalippou-Frayssinet, qui compare des fumures d'entretien organiques et minérales sur vigne.

COMPARAISON DE FUMURES ORGANIQUES ET MINÉRALES

L'essai est conduit sur une parcelle plane, sableuse (85 % de sables), reposant sur un substrat argileux vers 1 m de profondeur. Le sol est pauvre en matières organiques (9,6 g/kg) et présente une faible capacité d'échanges cationiques (~ 3 Cmol+/kg). Le pH est acide (6,3).
La parcelle, d'une densité de 5700 pieds par hectare, est intégralement travaillée avec chaussage et déchaussage.

4 modalités d'apports sont étudiées depuis 1997 :

- **TEM** : témoin sans fertilisation,
- **MIN** : fumure minérale seule,
- **ORG** : amendement organique (végéthumus) avec un complément organique P K,
- **OMI** : amendement organique (végéthumus) avec un complément minéral N P K.

Le dispositif expérimental choisi comprend 5 blocs donc 5 répétitions de chaque traitement.

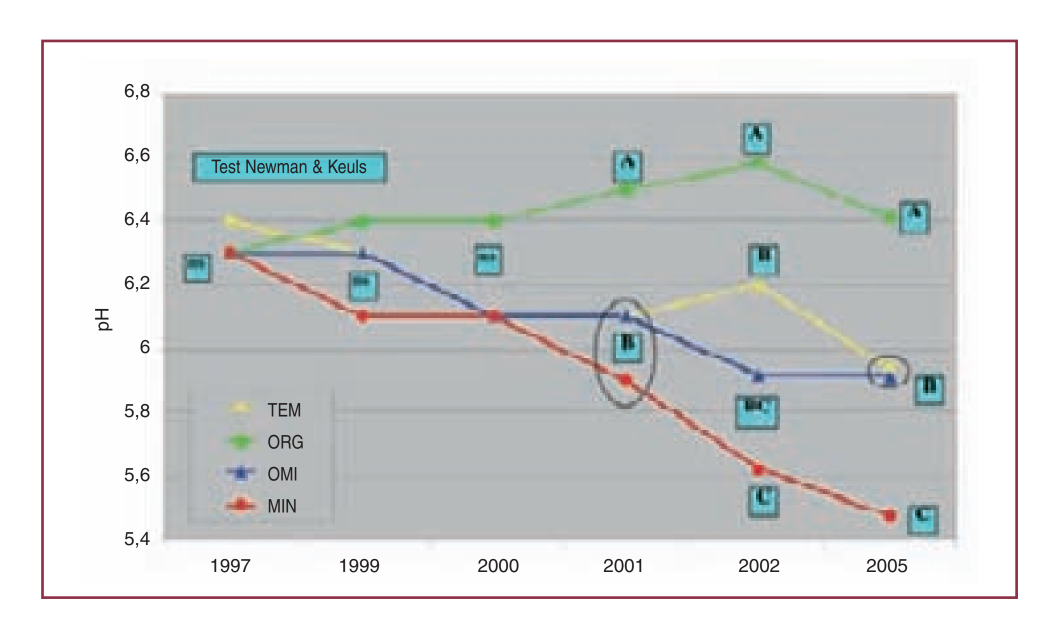
Compte tenu du manque de vigueur observé sur la parcelle, les fumures ont été doublées à partir de 2001, soit : 4 tonnes/ha pour la modalité ORG, 2 tonnes/ha pour OMI et 1 tonne/ha pour MIN. Les doses des différents éléments minéraux apportés sur toutes les modalités traitées sont ainsi devenues : 60 unités d'azote, 40 unités d'acide phosphorique, 120 unités de potasse et 60 unités de magnésie.

RÉSULTATS

Evolution du pH

Comme tout sol non calcaire, la modalité témoin, ne recevant pas de fertilisation, tend à s'acidifier naturellement au cours du temps. A partir de 2001, lors de la cinquième année d'apports, des différences deviennent statistiquement significatives entre modalités :

- L'apport de compost sous forme de végéthumus (modalité ORG) a augmenté le pH.
- L'apport d'une fertilisation minérale d'entretien (modalité MIN) a diminué le pH du sol qui est passé de 6,3 à moins de 5,5 en 7 ans.
- La modalité organo-minérale tend à présenter un pH similaire au témoin. L'acidité apportée par les éléments minéraux parait être compensée par la partie organique.



Légende :
A, B : Groupes statistiques déterminés par le test de Newman-Keuls
ns : non significativement différent d'après l'analyse de variance (risque de 1[re] espèce de 5 %)

Graphique n° 1 : Évolution du pH depuis le point « zéro » en 1997

Fractionnement des matières organiques

Un fractionnement des matières organiques a été réalisé sur les 20 premiers centimètres de sol en 2000 et 2006 par le laboratoire Alma Terra. Les matières organiques ont été analysées dans 2 compartiments granulométriques (CHAUSSOD, 1999 ; SALDUCCI, 2004) :

- Compartiment sableux (granulométrie > 50µm), correspondant essentiellement à des résidus végétaux facilement dégradables : **MO libres.**
- Compartiment limono-argileux (granulométrie < 50 µm) : **MO liées, humifiées ou en voie d'humification.**

Matières organiques / granulométrie > 50 µm : MO libres

	Cmg/g sol		%Ctot		C/N	
	2006	Evol.%	2006	Evol.%	2006	Evol.%
TEM	2,3 C	-35	35	-9	13 B	-91
ORG	3,2 A	-14	41	-7	20 A	-80
OMI	2,9 B	-17	39	1	19 A	-80
MIN	2,7 B	-29	43	0	21 A	-88
	+++	ns	ns	ns	+++	ns

A, B : Groupes statistiques déterminés par le test de Newman-Keuls
ns : non significativement différent d'après l'analyse de variance (risque de 1[re] espèce de 5 %)
+ significatif à 0,05
++ significatif à 0,01
+++ significatif à 0,001

C mg/g sol :
Teneur en carbone dans la fraction granulométrique
% Ctot :
Pourcentage de carbone par rapport à la teneur totale en carbone du sol des 2 fractions
Evol. % :
Evolution entre 2000 et 2006
C/N : Rapport carbone sur azote

Matières organiques / granulométrie < 50 µm : MO liées

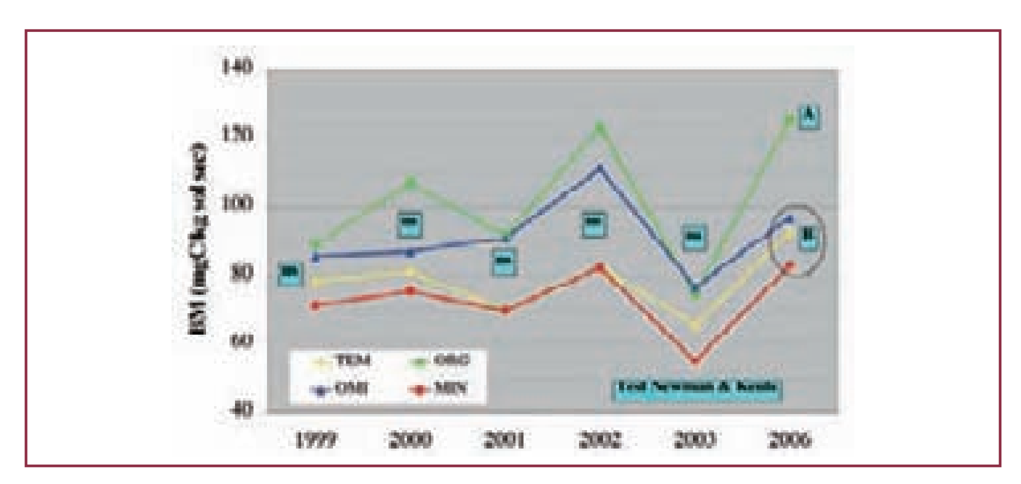
	Cmg/g sol		% Ctot		C/N	
	2006	Evol. %	2006	Evol. %	2006	Evol. %
TEM	4,3	-18	65	5	11 A	-17 A
ORG	4,6	2	59	5	9 B	-27 AB
OMI	4,6	-15	61	-1	9 B	-27 AB
MIN	3,7	-21	57	3	8 B	-40 B
	ns	ns	ns	ns	+++	+

Tableau n° 1 : Évolution du fractionnement des matières organiques (2000-2006)

Le tableau n°1 présente les teneurs en carbone relevées dans les 2 fractions granulométriques en 2006 et le pourcentage d'évolution de ces teneurs entre 2000 et 2006.
On remarque des différences de teneurs en carbone hautement significatives entre modalités au sein de la fraction libre. C'est sur la modalité ORG que les teneurs sont les plus élevées puis sur OMI et MIN. Les teneurs les plus basses sont relevées sur le témoin. Les teneurs en carbone ont diminué sur toutes les modalités entre 2000 et 2006, sans présenter de différences significatives entre modalités. Sur la fraction fine, les teneurs ne sont pas significativement différentes.
En ce qui concerne les rapports C/N, si les rapports obtenus sur sol non fractionné sont semblables entre modalités, le témoin présente des C/N notablement plus faibles dans la fraction grossière et plus forts dans la fraction fine. On peut remarquer une diminution importante du C/N de la fraction fine sur la modalité recevant une fertilisation minérale.

Evolution de la Biomasse microbienne

Les premières analyses de biomasse ont été réalisées en 1999 soit 2 ans après le début des apports. Nous ne possédons donc pas de véritable « point zéro ».



Graphique n° 2 : Évolution de la biomasse microbienne en mg de C microbien/kg terre

Légende :
A, B : Groupes statistiques déterminés par le test de Newman-Keuls
ns : non significativement différent d'après l'analyse de variance (risque de 1re espèce de 5 %)

En 2006, pour la première fois, la biomasse relevée sur la modalité ORG est significativement plus élevée que sur les autres modalités.

Autres indicateurs du fonctionnement organique et biologique du sol

Activités hydrolytiques

Des indices d'activité microbienne ont été mesurés en se basant sur les activités hydrolytiques globales du sol (enzymes en partie impliquées dans la digestion de la matière organique). Les valeurs obtenues sont toutes très faibles et les différences ne sont pas significatives entre modalités.

C et N potentiellement minéralisables en conditions contrôlées de température et d'humidité

Nous avons constaté peu de variations entre modalités. Lorsque des différences statistiques sont relevées, les niveaux restent néanmoins similaires entre modalités.

Analyses multidimensionnelles

Le tableau n° 2 présente les corrélations obtenues entre les différents paramètres analysés en 2006 sur les 20 premiers centimètres de sol.

	pH	C libre	C lié	N libre	N lié	C/N libre	C/N lié	BM	BM/C	Cmin	Nmim	MgO	Cu	Mn
pH	**1**					0,53	-0,48	0,71	0,58		0,64			-0,77
C libre		**1**			0,47	0,56				0,45		0,70	-0,57	
C lié			**1**		0,50			0,53				0,46		
N libre				**1**				0,48			0,52			
N lié		0,47	0,50		**1**							0,70	-0,69	
C/N libre	0,53	0,56				**1**	-0,73	0,74			0,64	0,75	-0,64	-0,61
C/N lié	-0,48					-0,73	**1**	-0,88			-0,72	-0,49		0,52
BM	0,71		0,53	0,48		0,74	-0,88	**1**	0,52		0,91	0,53	-0,53	-0,54
BM/C	0,58							0,52	**1**		0,57			
Cmin		0,45								**1**	0,45			
Nmin	0,64			0,52		0,64	-0,72	0,91	0,57	0,45	**1**	0,52	-0,54	
MgO		0,70	0,46		0,70	0,75	-0,49	0,53			0,52	**1**	-0,86	
Cu		-0,57			-0,69	-0,64		-0,53			-0,54	-0,86	**1**	
Mn	-0,77					-0,61	0,52	-0,54						**1**

Tableau n° 2 : Table de corrélation entre différents paramètres du sol analysés en 2006

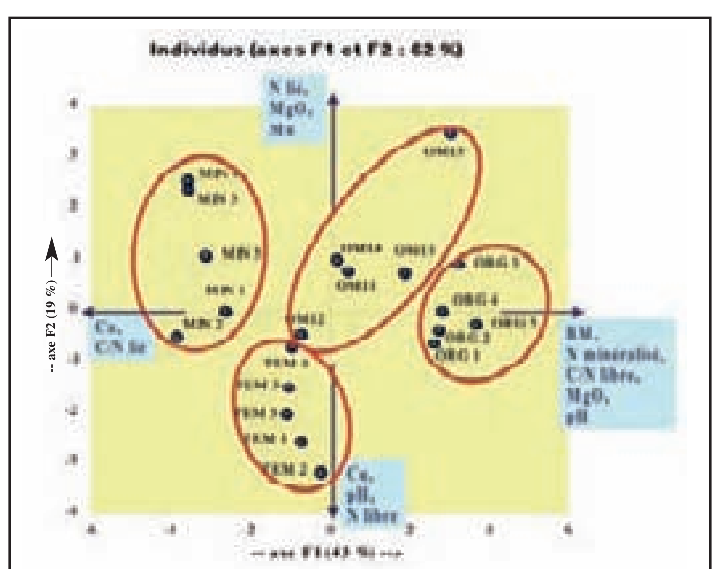
Valeurs significatives (hors diagonale) au seuil alpha = 0,05 (test bilatéral)

(Remarque : Les teneurs en argile, limon et sable ne sont pas corrélées avec les paramètres de ce tableau. La texture n'entraîne donc pas de biais dans l'étude de la biomasse sur cet essai)

A la lecture du tableau n° 2, nous pouvons observer que la biomasse microbienne est significativement corrélée par ordre décroissant avec le potentiel de minéralisation en azote, le rapport C/N de la fraction sableuse, le pH, la teneur en carbone de la matière organique liée, la teneur en magnésie, le rapport BM/C et la teneur en azote de la matière organique libre. Elle est en revanche corrélée négativement avec le C/N de la matière organique liée et les teneurs en cuivre et manganèse échangeables.

Une Analyse en Composantes Principales (ACP) a également été effectuée à partir des variables quantitatives mesurées sur le sol en 2006.
Le premier axe factoriel explique 43 % de la variabilité totale. Cet axe représente principalement la valeur de BM, croissante vers la droite de l'axe et corrélée comme nous l'avons constaté sur le tableau n° 2, à des paramètres tels que le potentiel de minéralisation en azote et le C/N de la fraction sableuse. A l'opposé, vers la gauche, ce sont les teneurs en cuivre et le C/N de la matière organique liée qui contribuent le plus à la formation de l'axe.
Le second axe factoriel n'explique que 19 % de la variabilité totale. Les placettes situées vers le haut de l'axe, présentent des teneurs plus élevées en azote dans la fraction liée de la matière organique, ainsi que des teneurs plus élevées en magnésie et en manganèse. A l'opposé, on retrouve des teneurs plus élevées de cuivre, de pH et de teneurs en azote dans la fraction sableuse.

Cette ACP permet une bonne distinction des 4 modalités suivies. On remarque notamment la forte opposition sur l'axe 1 entre les placettes ayant reçu une fertilisation minérale et celles ayant reçu une fertilisation organique. La modalité organo-minérale est intermédiaire. L'axe 2 permet de distinguer le témoin des modalités traitées.



Graphique n° 3 : Analyse en Composantes Principales (données 2006)

TEM : Témoin sans fertilisation
MIN : fumure minérale
ORG : fumure organique
OMI : fumure organo-minérale
N libre, N lié : Teneurs en azote des fractions > et < à 50 µm
BM : Biomasse Microbienne
N minéralisé : Potentiel de minéralisation en 28 jours
Cu, Mn, MgO : Teneurs en cuivre, manganèse et magnésie
C/N libre, C/N lié : C/N des fractions > et < à 50 µm

CONCLUSION

Cet essai a permis la mise en évidence de l'impact à moyen terme du mode de fertilisation sur certains paramètres physico-chimiques et biologiques d'un sol sableux. Ainsi, selon que l'on opte pour une fertilisation annuelle, organique, minérale, organo-minérale ou une absence de fertilisation, des conséquences notables sont mesurables au niveau du sol après seulement 5 à 10 ans. Nous avons notamment observé des différenciations de pH et des modifications des caractéristiques des différents compartiments de matières organiques du sol entre les 4 modalités suivies.

La vie du sol, étudiée principalement par l'intermédiaire de la biomasse microbienne est également influencée de façon directe ou indirecte par l'itinéraire de fertilisation. La taille de la biomasse microbienne croît avec les apports organiques qui, bien que fortement compostés, augmentent la fourniture en azote et s'opposent à l'acidification du sol. Les apports organiques permettent également de limiter sensiblement la toxicité du cuivre qui s'avère très préjudiciable à l'activité biologique (Chaussod *et al.*, 2004).

Les résultats obtenus dans le cadre de cet essai ne sont pas transposables à tous les sols viticoles. Ainsi, sur une parcelle sablo-argileuse de pH 8 et de teneur en matières organiques de 13,5 g/kg, des apports de 10 tonnes/ha/an de fumier frais ou composté n'ont pas permis la mise en évidence de différences de pH ou de taille de la BM après 6 années d'étude.

DISCUSSION SUR CERTAINES PRATIQUES CULTURALES

La présentation de l'ensemble des observations effectuées sur la thématique de l'impact des pratiques culturales sur la vie du sol n'étant pas possible dans le cadre de cet article, nous présentons brièvement quelques constatations obtenues.

- **Matières organiques :** En constituant une source d'énergie pour les micro-organismes, l'apport de matières organique est favorable au développement de la biomasse. En revanche, si les sols pauvres en matières organiques (moins de 1,5 % sur les 20 premiers centimètres) présentent toujours une faible biomasse, ce ne sont pas les sols possédant les taux les plus élevés qui présentent les valeurs de biomasse les plus fortes. Une teneur « élevée » en matières organiques n'est, en effet, pas suffisante pour créer un environnement favorable au développement microbien. Le pH et l'aération du sol par exemple sont également des paramètres limitants. A côté de son rôle biologique direct, la matière organique joue un rôle physique (structure, porosité, rétention en eau) et chimique (action sur la fourniture et le stockage d'éléments minéraux, compléxation des Eléments Traces Métalliques et rétention des micro-polluants et des pesticides). Des recherches ont également montré qu'en stimulant l'activité microbienne, l'addition de compost au sol augmentait la vitesse de dégradation de certains herbicides (Duah-Yentumi *et al.*, 1980, cité par Barker & Bryson, 2002).
- **Aération des sols :** La diminution de l'aération réduit la diffusion des gaz et la circulation de l'eau, ce qui limite la vie microbienne et peut asphyxier les racines. Les zones compactées par le passage des roues ou au niveau des semelles de labour ne sont donc pas propices à un fonctionnement optimal du sol.
- **pH :** La différence de pH entre modalités semble être un facteur explicatif notable sur un site d'essai pour un millésime donné. En revanche, nous n'avons pas constaté de corrélation entre la BM et le pH sur l'ensemble des sites d'expérimentation et des millésimes étudiés. Cependant, la BM reste faible dans les situations où le pH du sol est inférieur à 5,8.
- **Enherbement :** En augmentant les teneurs en matières organiques du sol et en améliorant l'aération du sol, l'enherbement stimule sensiblement le développement de la BM. On peut néanmoins supposer que dans des situations où il engendre un dessèchement trop important du sol, son effet puisse être défavorable sur la vie du sol durant certaines périodes.
- **Fertilisation azotée :** Chaussod (Chaussod, 1996) rapporte les résultats d'un essai de 27 ans conduit par Schnürer *et al.* (1985) où l'apport de 80 kg d'azote par hectare augmente de 30 % le niveau de biomasse microbienne par rapport aux parcelles non fertilisées. Ces résultats ont été confirmés dans nos essais sur un sol viticole enherbé de texture sablo-argileux à argilo-sableux de pH 6,5 lorsque la fertilisation azotée était apportée en plein durant 5 années. En revanche, l'effet positif a rapidement disparu lorsque la fertilisation a été

localisée sous le rang, ne profitant plus à l'enherbement de l'inter-rang. L'effet de la fertilisation azotée est même devenu significativement dépressif sur la biomasse après 6 années d'apports azotés localisés. Le niveau moyen de BM des modalités ayant reçu 60 ou 90 unités d'azote par hectare et par an, a ainsi été diminué respectivement de -15 et -25 % par rapport aux parcelles non fertilisées. Parallèlement, nous avons pu mettre en évidence une augmentation significative des teneurs en carbone du sol sur les parcelles fertilisées par rapport au témoin. Ainsi, la BM étant significativement plus faible alors que la teneur en carbone est plus élevée, le rapport BM/C est significativement plus faible sur les modalités ayant reçu 60 ou 90 unités d'azote. Des résultats similaires ont été observés sur une parcelle sableuse, désherbée, de pH 6 recevant 50 unités d'azote par hectare et par an, où la différence de BM avec le témoin non fertilisé est de -23 % après 10 ans d'apport. Malgré l'effet positif de la fertilisation azotée sur les teneurs en carbone du sol dans les 2 essais, l'acidification résultant des apports semble avoir une influence prépondérante. Les différences de pH observées entre modalités traitées avec au moins 50 unités d'azote par hectare et par an et le témoin sont ainsi de l'ordre d'une demi unité à près d'une unité pH.

- **Désinfection des sols :** Dans les sols infectés par le court-noué, hormis le repos du sol, il n'existe pas actuellement d'alternatives à la lutte chimique. Une expérimentation concernant le 1,3-dichloropropène et prenant en compte l'impact sur la vie du sol a débuté en gironde fin 2005. Les premiers résultats obtenus indiquent l'absence d'effet négatif sur la taille de la BM, 7 mois après fumigation.

Attention : Si l'on peut supposer que l'augmentation de la vie des sols va dans le sens d'une amélioration du fonctionnement du sol, elle ne présume nullement de l'amélioration de la qualité des vins. A contrario, une augmentation significative de la minéralisation liée au développement microbien peut être préjudiciable à la qualité des baies de raisin.

BIBLIOGRAPHIE

Barker A.V., Bryson G.M., 2002. Bioremediation of heavy metal and organic toxicants by composting. The Scientific World Journal. Février 2002, pp 407-420.

Chaussod R., 1996. La qualité biologique des sols : Evaluation et implications. Etude et Gestion des sols, 3,4, pp 261-278.

Chaussod R. et al, 1999. La fertilité des sols viticoles : indicateurs microbiologiques. In Euroviti : 12e colloque viticole et œnologique. ITV France, pp 15-22.

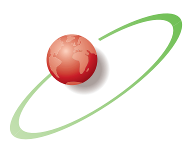
Chaussod R., Nouaim R., Breuil M.C., Nowak V., Cahurel J.Y., 2004. Influence du type de sol et des pratiques agro-viticoles sur les caractéristiques biologiques des sols : état actuel des connaissances et premiers résultats en Beaujolais. Les 13e Entretiens du Beaujolais. ITV France.

Davet P., 1996. Vie microbienne du sol et production végétale. INRA ed. 383 p.

Duah-Yentumi S., Kuwatsuka S., 1980. Effect of organic matter and chemical fertilizers on the degradation of benthiocarb and MCPA herbicides in soil. Soil Sci. Plant Nutr. 26, pp 541-549.

Salducci X., 2004. La biomasse microbienne des sols : de précieux petits indics. PHM-Revue Horticole. N° 454, pp 31-33.

Schnürer J., Clarholm M., Rosswall T., 1985. Microbial biomass and activity in agricultural soil with different organic matter contents. Soil Biology and Biochemistry, 17, pp 611-618.



Perspectives d'expérimentations

Jean-Yves CAHUREL - ITV France
210 boulevard Vermorel - BP 320 - 69661 VILLEFRANCHE SUR SAÔNE CEDEX

La modification des stratégies d'entretien des sols viticoles, opérée depuis 10-15 ans, va dans le sens d'une diminution de l'utilisation des herbicides et du respect de l'environnement. Les stratégies utilisées, le plus souvent des combinaisons de différentes techniques telles que l'enherbement, le désherbage mécanique ou le désherbage chimique sur le rang, doivent être adaptées aux conditions pédo-climatiques, culturales et économiques de chaque situation. Si, dans la grande majorité des cas, des solutions peuvent être proposées, il n'en reste pas moins que quelques situations, que l'on peut qualifier de critiques, persistent où l'utilisation des herbicides reste nécessaire. On peut citer le cas des sols superficiels de coteaux, les sols superficiels en conditions limitantes en eau (pourtour méditerranéen) ou les vignobles à densité élevée où enherbement et désherbage mécanique sont difficilement concevables économiquement parlant.

Même si le désherbage chimique réalisé uniquement sur le rang permet une limitation importante de l'utilisation des herbicides et, de fait, de la pollution des eaux de surface ou souterraines, il convient tout de même de se pencher sur des solutions où toute utilisation d'herbicide serait bannie. Ce point est d'autant plus important à prendre en compte au vu de la diversité de plus en plus restreinte des matières actives à la disposition du viticulteur et donc des risques que cela pourrait engendrer (concentration dans les eaux, sélection de flore,…).
Des expérimentations sont ou doivent être mises en place pour répondre à ces problématiques particulières.

MAÎTRISE DE L'ENHERBEMENT

L'enherbement est une technique intéressante du fait des nombreux avantages qu'elle procure en terme environnemental sur le plan physique (érosion, stabilité) (Andrieux, 2006 ; Gril, 2002) et biologique (matière organique, fonctionnement du sol) (Crozier *et al.*, 2004 ; Renaud et Chantelot, 2004) en plus des autres points positifs qu'elle peut induire, en particulier au niveau de la vigne elle-même. Toutefois son entretien et surtout la concurrence qu'elle impose à la vigne peuvent être problématiques dans certaines conditions. En effet, l'enherbement est en compétition avec la vigne pour les ressources hydriques et azotées principalement, les deux étant liées (Chantelot *et al.*, 2004 ; Maigre, 2002 ; Schultz et Löhnertz, 2002 ; Soyer *et al.*, 1984). Si cela ne pose pas de problème, et est même recherché dans les conditions non limitantes, dans les situations difficiles, cela peut engendrer des soucis de développement végétatif et de qualité des raisins au niveau de la vigne (Maigre et Murisier, 1992).

ENHERBEMENT SUR LE RANG

L'objectif est l'abandon des herbicides en enherbant en plein. Deux problèmes se posent alors : d'une part la gestion de la pousse, d'autre part la concurrence.

Pour le premier point, l'utilisation d'espèces rases (ex : Pâturin, Plantain, Ray Grass anglais) pourrait permettre de limiter le nombre de tontes. Ces dernières sont réalisées avec une tondeuse inter ceps.

Pour le deuxième point, il conviendrait d'utiliser des espèces peu concurrentielles telles que la Fétuque rouge ou la Fétuque ovine. Des expérimentations comprenant des mélanges de ces différentes espèces ont été mises en place en 2006 par ITV France sur 3 sites en Midi-Pyrénées. Il est également prévu d'étudier l'aspect matériel (tondeuses les mieux adaptées en particulier).

Cet enherbement sur le rang peut se faire également avec des Légumineuses. Des expérimentations sont menées actuellement par les Chambres d'Agriculture de la région PACA pour juger de la faisabilité et de l'influence de cette pratique sur la vigne.

LIMITATION DE LA CONCURRENCE DUE À L'ENHERBEMENT

De telles solutions seraient surtout intéressantes dans les situations de sols superficiels et/ou secs. Deux axes d'études peuvent être envisagés.

Utilisation d'espèces peu concurrentielles

De telles espèces sont adaptées aux conditions sèches du fait de leur dormance estivale, caractérisée par un blocage physiologique pendant l'été, même en cas de pluie. Cela se traduit par une absence de production végétative pendant cette période et donc une faible pression concurrentielle sur la vigne. C'est le cas de certaines variétés de Dactyle, Kasbah en particulier, qui allient faible consommation en été et très bonne pérennité. Il est en cours d'étude dans différentes situations méditerranéennes, en particulier au niveau de l'INRA de Montpellier (Gary et Lelièvre, 2006). Les premiers résultats semblent prometteurs.

On peut trouver également certaines espèces peu concurrentielles parmi les Légumineuses (Luzerne, Trèfle souterrain) à condition qu'elles soient précoces de façon à ce que leur développement s'arrête suffisamment tôt pour ne pas concurrencer la vigne en été. Les Légumineuses ont de plus l'intérêt d'apporter de l'azote, ce qui peut être intéressant dans le cadre d'un mélange Légumineuses-Graminées. Il convient toutefois d'être prudent dans leur utilisation, en fonction des conditions de sol, si elles sont employées seules (risque de surnutrition azotée au niveau de la vigne). Là encore des essais sont en place (Chambres d'Agriculture de l'Aude et des Pyrénées Orientales entre autres).

Enherbement naturel

L'enherbement naturel a l'avantage, par rapport à un enherbement semé, du moindre coût (pas de semis) et d'utiliser la flore naturelle, mieux adaptée aux conditions climatiques. De plus, si la concurrence est excessive, le viticulteur a la possibilité de détruire ce couvert, ce qui s'avère beaucoup plus délicat économiquement dans le cas d'un enherbement semé. Des expérimentations sont actuellement en place, menées par les différentes Chambres d'Agriculture de Languedoc-Roussillon, Provence-Alpes-Côte d'Azur et Rhône-Alpes, dans le cadre d'un groupe inter-régional Entretien des sols. Elles devraient permettre, en particulier, de définir la date optimale de destruction du couvert végétal en cas de risque de concurrence trop élevée.

Stratégie d'enherbement

Ceci amène en effet à évoquer la notion de stratégie en terme d'enherbement. Des conditions extrêmes en terme de sécheresse (en particulier printemps sec suivi d'un été sec, comme en 2005 par exemple) aboutissent à une concurrence trop élevée par rapport à la vigne, quel que soit le type d'enherbement choisi (le niveau de sécheresse à atteindre et le niveau de concurrence atteint dépendent toutefois du type de d'enherbement). Dans ces cas-là, la destruction (ou tout du moins la réduction) du couvert végétal est obligatoire. Restent à déterminer l'intensité de cette réduction et le moment auquel elle doit intervenir.

Dans le même ordre de préoccupation, l'UMR SYSTEM de Montpellier vient de lancer une thèse visant, entre autres, à la mise au point d'un modèle de décision et d'évaluation du choix d'itinéraires techniques dans le cadre des vignes enherbées, à partir d'indicateurs pertinents. Ce modèle ne serait pas spécifique du milieu méditerranéen puisque le programme prévoit un élargissement aux vignobles septentrionaux.
Cette étude est le prolongement logique des travaux déjà réalisés au niveau de cette UMR, en terme d'évaluation des itinéraires techniques d'enherbement (Gary et Lelièvre, 2006).

La stratégie d'enherbement peut être également évoquée au niveau plus global des modes de conduite. En effet cette technique est difficile à implanter dans les régions où la densité de plantation est élevée, essentiellement du fait du coût important et des difficultés techniques qu'elle engendre. Ce serait pourtant une solution appropriée dans les vignobles où les risques d'érosion sont importants, l'enherbement ayant à la fois un rôle protecteur du sol (Voltz *et al.*, 2006), un rôle d'infiltration de l'eau (CURMI *et al.*, 2006) par augmentation de la porosité et un rôle de résistance à l'arrachement (système racinaire).

C'est pourquoi des vignobles se sont penchés (Beaujolais) ou veulent se pencher (Champagne) sur la modification des modes de conduite, principalement les densités de plantation. En effet, l'élargissement de l'inter-rang permet un entretien beaucoup plus aisé de l'engazonnement et un moindre coût. Après vérification de l'innocuité de ce changement de pratique sur la qualité des vins, cela devrait permettre à ces vignobles, où le désherbage chimique est généralisé à l'heure actuelle, de réduire l'utilisation des herbicides.

DÉSHERBAGE

Désherbage chimique

Même si l'utilisation des herbicides doit être réduite, il n'en reste pas moins que ces produits peuvent être utiles en complément des techniques d'enherbement dans certaines conditions. En particulier, comme nous l'avons vu plus haut, la limitation de la pousse du couvert herbacé en cas de contrainte exacerbée sur la vigne, peut s'avérer intéressante, aussi bien sur l'inter-rang, dans le cas d'un enherbement partiel, que sur le rang, dans le cas d'un enherbement total de la parcelle (même si la solution sans herbicide est à privilégier). Des expérimentations sont déjà en cours (Bourdrez et Drouillard, 2004 ; Levasseur *et al.,* 2004) et pourraient être étendues au cas de l'enherbement sur le rang ou de variétés peu concurrentielles (voir partie Maîtrise de l'enherbement, plus haut).

Désherbage électrique

Cette technique a été étudiée par le CEMAGREF dans les années 1990 (Rabatel, 2004). Le principe est au point. Il consiste à électrocuter les adventices, en plaçant simultanément une électrode active au contact de la plante et une électrode de masse dans le sol. Le courant électrique utilisé est sous haute tension (quelques dizaines de milliers de Volts, en fonction de la taille de la plante à détruire) mais de faible intensité (quelques milliAmpères) pour réduire la consommation énergétique. La plante est alors détruite entièrement.

Le plus délicat reste le repérage des mauvaises herbes et le positionnement de l'outil. Pour ce faire, une sorte de robot a été conçue avec repérage par vision artificielle, bras manipulateur et contrôle du pointage et du positionnement de l'outil. Cet outil, resté pour l'instant à l'état de prototype, pourrait être adapté à la vigne à partir de l'an prochain (partenariat ITV-CEMAGREF). Il restera à étudier la faisabilité, tant sur le plan technique que sur les plans économique et environnemental.

CONCLUSION

Même si des avancées importantes ont été réalisées ces dernières années pour trouver des alternatives à l'utilisation des herbicides, des efforts restent à faire (Speich, 2005). Des études et expérimentations sont déjà en cours ou en prévision pour soit améliorer l'utilisation de ces techniques, soit trouver des solutions dans des situations où l'on aboutit à l'heure actuelle à une impasse. L'aspect économique est un critère important à prendre en compte dans ces études.

Enherbement sur le rang, utilisation d'espèces peu concurrentielles, enherbement naturel, utilisation raisonnée du désherbage chimique, désherbage électrique sont des voies diversifiées qui doivent permettre de répondre, à plus ou moins long terme, aux attentes des viticulteurs et de la société civile en terme environnemental. La stratégie, qu'elle soit globale, avec la modification des modes de conduite, ou partielle, est également un point important à prendre en compte, voire primordial. En effet, elle permet l'adaptation de ces différentes alternatives (le plus souvent combinaison de différentes techniques) aux conditions pédo-climatiques, culturales et économiques et par-là même un transfert plus facile vers le viticulteur. L'intégration de toute la branche Recherche & Développement de la filière (organismes de recherche, ITV, Chambre d'Agriculture, Services Techniques) dans la mise au point et l'acquisition de références de ces techniques, est donc essentielle à l'aboutissement de ces travaux, afin d'arriver à une limitation notable des pollutions induites par l'entretien des sols viticoles.

BIBLIOGRAPHIE

Andrieux P., 2006. Effets des pratiques culturales sur le ruissellement et l'érosion. Coord. INRA, Vigne, sol et environnement, Montpellier, 7 février 2006.

Bourdrez P., Drouillard J. B., 2004. Intérêt d'une maîtrise chimique de l'engazonnement en vigne. Coord. AFPP, 19ème conférence du COLUMA. Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, Dijon, 8-10 décembre 2004.

Chantelot E., Celette F., Wery J., 2004. Concurrence pour les ressources hydriques et azotées entre vigne et enherbement en milieu méditerranéen. Coord. AFPP, 19ème conférence du COLUMA. Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, Dijon, 8-10 décembre 2004.

Crozier P., Peres G., Leveque J., Cluzeau D., Dousset S., Nouaim R., Sauvage D., Andreux F., Chaussod R., 2004. Entretien des sols viticoles en Bourgogne : comparaison de différents itinéraires techniques pendant 10 ans. Coord. AFPP, 19ème Conférence du Columa - Journées Internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, Dijon, 8, 9 et 10 décembre 2004.

Curmi P., Chatelier M., Trouche G., 2006. Caractérisation et modélisation de l'écoulement de l'eau sur le sol d'un vignoble. Influence du compactage et de l'enherbement. Coord. VIe Congrès International des terroirs viticoles, Bordeaux, 2-5 juillet 2006.

Gary C., Lelièvre F., 2006. Une stratégie de protection des sols aux effets complexes : l'enherbement. Coord. INRA, Vigne, sol et environnement, Montpellier, 7 février 2006.

Gril J.-J., 2002. Intérêt de l'enherbement de la vigne pour limiter le ruissellement, l'érosion et la pollution par les produits phytosanitaires. Coord. ITV France, Mondiaviti, Bordeaux, 4 et 5 décembre 2002, 24-28.

Levasseur M., Tombu B., Zambaux C., 2004. Entretien des couverts d'enherbement sur vigne avec l'aminotriazole. Coord. AFPP, 19e conférence du COLUMA. Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, Dijon, 8-10 décembre 2004.

Maigre D., 2002. Enherbement permanent et fumure azotée sur cv. Gamay dans le Valais central. 4. Comportement physiologique. Revue suisse de Viticulture Arboriculture Horticulture, 34, 2, 119-123.

Maigre D., Murisier F., 1992. Essai d'entretien d'un sol viticole dans une région à faible pluviosité. Un bilan après 16 ans d'expérimentation en Valais. Revue suisse de Viticulture Arboriculture Horticulture, 24, 5, 271-278.

Rabatel G., 2004. Prototype de désherbage non polluant.
http://www.cemagref.fr/informations/DossiersThematiques/AgriculturePropreRaisonnee/Recherche01.htm

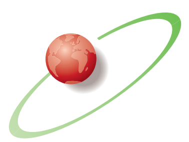
Renaud A., Chantelot E., 2004. Impact de quatre pratiques d'entretien des sols sur les microarthropodes et la décomposition de la matière organique dans un vignoble méditerranéen. Coord. AFPP, 19e conférence du COLUMA. Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, Dijon, 8-10 décembre 2004.

Schultz H. R., Löhnertz O., 2002. L'utilisation de l'enherbement en Allemagne et ses effets possibles sur la qualité du vin. Coord. ITV France, Mondiaviti, Bordeaux, 4 et 5 décembre 2002, 57-63.

Soyer J.-P., Delas J., Molot C., Andral P., Casteran P., 1984. Techniques d'entretien du sol en vignoble bordelais. Conséquences sur la vigne (production, vigueur, enracinement, nutrition) et sur le sol après 20 ans d'expérimentation. Le Progrès agricole et viticole, 101, 12, 315-320.

Speich P., 2005. Problématique des transferts des produits phytosanitaires dans les eaux des molécules phytosanitaires à différentes échelles. Coord. ITV France, Euroviti, Montpellier, 30 novembre et 1er décembre 2005, 33-40.

Voltz M., Andrieux P., Louchart X., 2006. Quelles techniques d'entretien du sol pour limiter la contamination des eaux par les pesticides ? Coord. INRA, Vigne, sol et environnement, Montpellier, 7 février 2006.



Logique des stratégies d'entretien des sols viticoles :

Une combinaison de pratiques

Yves HEINZLÉ - ITV France
Pôle Technique Viticole - Les Poncétys - 71960 DAVAYE

En première approximation, les techniques d'entretien des sols peuvent être classées en trois grandes catégories : les façons aratoires, l'emploi d'herbicides chimiques et la mise en œuvre de différents types d'enherbement. L'importance respective de chacune d'elles varie en fonction du vignoble et des périodes de l'histoire viticole considérés.

LA SITUATION ACTUELLE

Le raisonnement du choix d'une technique d'entretien du sol est basé sur les constats issus d'expérimentations et d'observations sur sites. Il convient de prendre en compte l'effet de chaque pratique sur la vigne, le sol et l'environnement. L'incidence sur le comportement de la vigne concerne principalement la vigueur, la qualité de la récolte et la préservation des souches. L'incidence sur le sol concerne principalement sa structure et ses propriétés physiques, chimiques et biologiques. Les considérations environnementales concernent essentiellement la préservation du patrimoine sol et la qualité des eaux.

Vis-à-vis de certains paramètres, les effets des différentes techniques sont assez bien connus. Par contre, pour quelques-uns d'entre eux les résultats expérimentaux sont encore fragmentaires. Leurs conclusions sont quelquefois contradictoires, exprimant ainsi l'importance de l'adaptation d'une technique d'entretien aux conditions du vignoble.

Le constat le plus important que l'on doit prendre en compte actuellement, est la réalité de la dégradation de la qualité de l'eau. La viticulture est concernée par l'aspect contamination de l'eau par les produits phytosanitaires et notamment les herbicides. Cette contamination est la résultante de l'évolution, débutée dans les années 1970 des pratiques d'entretien des sols.

Même si la réalité des diverses situations peut être contrastée, il est indispensable de modifier nos pratiques d'entretien des sols avec l'objectif de limiter au maximum l'emploi des herbicides chimiques.

Il convient donc de s'orienter vers les alternatives à l'emploi des herbicides : désherbage mécanique, voire thermique, et les diverses possibilités d'enherbement du sol des vignes.

Le changement des pratiques est nécessaire, mais il convient de ne pas renouveler l'erreur précédente qui a consisté à remplacer une monotechnique (désherbage mécanique) par une autre monotechnique (désherbage chimique intégral) sur la majorité des surfaces en vignes. Ce changement doit se raisonner à la parcelle dans le contexte de chaque exploitation, tout en sachant que la solution unique, valable dans toutes les situations, n'existe pas.

LES PARAMÈTRES DE CHOIX D'UNE TECHNIQUE

Dans le but de déterminer la technique la mieux (ou la moins mal) adaptée à la situation, il convient de prendre en compte différents paramètres dont la hiérarchisation peut être variable en fonction du contexte. Sans avoir la prétention d'être exhaustif, il est possible de lister les paramètres permettant d'examiner la compatibilité des différentes techniques avec la réalité des conditions d'exploitation.

Les paramètres de localisation géographique

Il s'agit essentiellement de prendre en compte le type de climat caractérisé essentiellement par l'importance et la répartition de la pluviosité, ainsi que l'existence des risques de gelées hivernales et printanières.

Les paramètres propres à la parcelle

La facilité de mécanisation, la topographie et les risques de ruissellement et d'érosion sont déterminants dans le choix des techniques possibles.
Le type de sol, sa profondeur exploitable, ses ressources en eau, en éléments minéraux et organiques sont également des facteurs limitant l'emploi de certaines techniques.
La densité de plantation, la vigueur de la vigne, l'âge et le mode de conduite des souches ainsi que l'ancienneté du désherbage chimique sont des facteurs rendant plus ou moins facile la réalisation de certaines techniques d'entretien du sol.

Les paramètres liés à l'exploitation

Les paramètres précédents, d'ordre technique et agronomique, permettent de déterminer la (ou les) technique la mieux adaptée à la parcelle. Toutefois, la possibilité de sa mise en pratique est dépendante de la structure propre à chaque exploitation viticole.
Ainsi, les différents itinéraires d'entretien des sols nécessitent des temps de main-d'œuvre différents et la possibilité de réalisation pratique se pose aussi bien en terme de présence que de disponibilité de celle-ci. A certaines époques de la campagne les interventions d'entretien du sol peuvent entrer en concurrence avec d'autres opérations culturales. Le coût des différentes pratiques doit être évalué et c'est un facteur de poids dans le choix. Actuellement, ce coût est calculé uniquement sur le plan monétaire mais il semble judicieux d'envisager à l'avenir, de s'intéresser, de plus, à la consommation en énergie notamment celle d'origine fossile.
L'influence de ces aspects varie en fonction de la superficie de l'exploitation mais surtout de la marge à l'hectare dégagée par le type de vin élaboré.

Naturellement, outre ces diverses considérations, le choix peut être orienté par la philosophie de production du viticulteur et par l'image qu'il souhaite donner de son exploitation.

A l'issue de ces réflexions, il est possible de bâtir une grille d'aide à la décision. Il s'agit de mesurer le degré d'adaptation des diverses techniques à différents critères. Ces principaux critères sont : le risque d'érosion, le risque de pollution par les herbicides, le risque de concurrence hydrique, le coût de réalisation et la facilité de mise en œuvre.

En bâtissant cette grille, on constate que toutes les alternatives à l'emploi des herbicides ont pour point commun des exigences de réalisation supérieures à celles de la mise en œuvre du désherbage chimique intégral. L'enherbement réduit très fortement les risques d'érosion mais il doit être mis en œuvre avec discernement en fonction de la réserve d'eau du sol. Le désherbage mécanique a un comportement inverse vis-à-vis de ces deux critères.

L'enseignement global est que chaque technique d'entretien du sol possède des avantages mais aussi des limites. De plus pour chacune, les inconvénients peuvent s'accroître dans le temps à l'issue d'une période d'emploi en monotechnique. Compte-tenu de la diversité des situations, il n'existe pas de solution universelle applicable sur la totalité du vignoble.

LES STRATÉGIES COMBINATOIRES

Il s'agit donc actuellement de proposer des itinéraires permettant de gérer l'intégration des techniques alternatives à l'emploi des herbicides et le surcoût généré par l'abandon du désherbage chimique en plein. Dans la majorité des situations, cette intégration devra se faire par paliers successifs de réduction jusqu'à atteindre l'objectif zéro herbicide lorsque cela est possible.

La monotechnique répétitive sur toute la surface d'une parcelle est rarement recommandable. Aucune technique n'étant parfaite, il apparaît judicieux d'encourager les stratégies combinant les différentes pratiques. L'objectif est d'additionner les avantages sans cumuler les défauts.

Dans tous les cas, les stratégies d'entretien de la parcelle choisies dans le but de limiter l'érosion et de réduire la contamination des eaux par les herbicides doivent être complétées d'aménagements favorisant ces objectifs. Certains de ces aménagements sont d'ordre individuel comme l'enherbement des tournières, mais d'autres sont d'ordre collectif comme la gestion des accès et du réseau de collecte des eaux pluviales.

Une technique unique sur toute la surface du sol

Gestion de la concurrence des adventices par désherbage chimique

Appelée autrefois, improprement, non culture cette méthode est actuellement rarement recommandée. Elle est toutefois la plus adaptée aux parcelles difficilement mécanisables et à celles où les conditions d'exploitation (sol, plante) sont peu compatibles avec les alternatives. Dans ce cas, il convient d'utiliser uniquement des doses d'herbicides nécessaires et suffisantes pour maintenir la concurrence des adventices à un niveau tolérable. Le choix devra se porter sur les herbicides les moins mobiles mais il est indispensable d'alterner les substances actives et les programmes : stratégies mixtes et ENM. L'emploi de mulchs peut être une solution aux problèmes de ruissellement.

Gestion de la concurrence des adventices par désherbage mécanique

Elle présente quelques risques agronomiques dans certaines situations (semelle de labour, érosion importante lors des orages violents,…). Le principal handicap est économique (coût, temps de travaux) et la réduction de portance des sols peut poser problème.

Gestion de la concurrence des adventices par désherbage thermique

L'emploi de cette technique est limité dans certaines régions. Le principal handicap réside dans l'importance des temps de travaux et le coût de réalisation.

Enherbement de toute la surface

Quel qu'en soit le type, il n'est envisageable que dans les lieux et les époques où l'eau n'est pas un facteur limitant. Les problèmes de concurrence peuvent rapidement s'avérer difficiles à gérer et la maîtrise (mécanique ou chimique) du couvert, se révèle quelquefois délicate à réaliser. La sélection d'espèces ou de variétés à faible développement présente un intérêt certain. Cette technique demande beaucoup de réactivité et peut devenir, à terme, incompatible avec l'évolution climatique en cours.

Les combinaisons dans l'espace

Une première catégorie consiste à associer sur une même parcelle deux techniques complémentaires.

La première stratégie de réduction des herbicides a pour principe de base de gérer séparément l'interligne et la ligne des souches. Elle doit être fortement encouragée.

Dans un premier temps, l'aspect pratique de l'entretien de la ligne des souches par l'application d'herbicides sera conservé, tout en prenant soin de diversifier les programmes. Par contre, l'interligne sera entretenu par une autre technique qui sera prioritairement l'enherbement dont le type sera choisi en fonction du contexte de la parcelle. En cas d'impossibilité, le désherbage mécanique de l'interligne sera employé. Cette combinaison réduit, de manière très significative, la quantité d'herbicide appliqué à l'hectare cadastral.
Dans un second temps, en fonction des possibilités, l'entretien de la ligne des souches pourra évoluer vers une suppression des herbicides et un entretien de cette ligne des souches par désherbage mécanique, voire désherbage thermique.

Une seconde stratégie de réduction des herbicides, complémentaire à la précédente, consiste à entretenir, par séquences, le sol des interlignes de manières différentes. Le premier objectif est de réduire au maximum le nombre d'interlignes faisant appel au désherbage chimique. Un autre objectif peut être de diluer les inconvénients de chaque technique en pratiquant par exemple en vignes larges l'alternance, un interligne sur deux : désherbage mécanique - enherbement.

Une seconde catégorie de combinaisons dans l'espace concerne le raisonnement des techniques à l'échelle de l'exploitation. Il s'agit d'adopter, en fonction de la typologie de chaque parcelle, la technique d'entretien la plus adaptée. La variabilité des pratiques sera fonction de l'homogénéité de l'exploitation.

Les combinaisons de pratiques présentent, par rapport à toute monotechnique d'entretien du sol, des avantages techniques et agronomiques évidents. Par contre, en première approche, elles ne simplifient pas la réalisation des opérations et elles demandent des investissements matériels supplémentaires et des temps de travaux significatifs. Il convient toutefois de relativiser ce jugement car, actuellement, il ne faut plus comparer ces combinaisons à la non culture nue par désherbage intégral mais aux monotechniques alternatives à l'emploi des herbicides.

Les combinaisons dans le temps

Si les combinaisons dans l'espace demeurent identiques au même endroit, nous nous exposons aux problèmes des défauts cumulés des pratiques répétitives. Il convient donc d'envisager, de plus, une alternance dans le temps des techniques.

Cette alternance peut s'effectuer au sein d'une même technique comme il est de mise pour les programmes herbicides. Dans le cas du désherbage mécanique, un début d'alternance consiste à varier la catégorie d'outils. Dans le cas de l'enherbement, il est possible d'envisager une alternance des types d'enherbement et pour aller plus loin une rotation d'espèces du style graminées, crucifères, légumineuses. Dans le cas de la séquence interligne travaillé, interligne enherbé, il paraît judicieux de prévoir des cycles d'alternance de l'ordre du quinquennat pour éviter les inconvénients d'un chevelu racinaire trop dense.

En poussant encore le raisonnement d'une manière plus globale, il apparaît intéressant d'envisager un système de rotation du type assolement au sein de l'exploitation. Dans la mesure où les conditions des parcelles n'imposent pas une seule technique, le système consiste à constituer des lots de parcelles, trois par exemple. Sur le premier lot, l'entretien du sol est assuré par des techniques relativement peu exigeantes en temps de travaux et en coût. Sur le deuxième lot, l'entretien du sol demande un peu plus de temps d'observation et de réalisation. Sur le troisième lot, les techniques seront encore plus exigeantes. La détermination de la durée du cycle de rotation est fonction des conditions. Le contexte de l'exploitation fixera le niveau d'exigence de chaque lot.
L'objectif majeur demeure, bien entendu, une réduction très significative de la quantité d'herbicides employés au niveau de l'exploitation.
Cette stratégie entraîne des investissements liés à chaque technique. Par contre, à l'échelle de l'exploitation, elle peut rendre, en moyenne, tolérables les problèmes posés par la disponibilité de la main-d'œuvre. L'avantage majeur de cette stratégie est de minimiser fortement les défauts liés à la répétitivité, sur le même espace, du même mode d'entretien du sol.

CONCLUSION

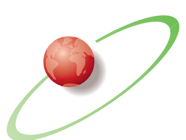
La réduction significative de l'emploi des herbicides et la maîtrise de l'érosion sont les objectifs majeurs des stratégies d'entretien des sols. Toutefois, la nécessaire modification des pratiques doit se faire progressivement pour tendre, lorsque le contexte technico-économique le permet, vers le zéro herbicide.

Les stratégies de combinaisons, dans l'espace et dans le temps, des pratiques s'avèrent susceptibles, d'une part d'aboutir très rapidement à une réduction importante des quantités d'herbicides appliquées et, d'autre part d'éviter les inconvénients de la monotechnique répétitive.

Compte tenu de la variabilité des conditions du vignoble, il n'existe pas de solution universelle. Le choix est à raisonner en fonction des situations.

Le concept global d'entretien du sol devient bien plus difficile à gérer que le simple aspect de lutte contre les adventices. Les alternatives à l'emploi des herbicides se révèlent, dans tous les cas plus difficiles à mettre en œuvre que le désherbage chimique et souvent d'un coût supérieur à celui-ci.

Il est évident que les critères de durabilité agronomique actuellement fixés aux exploitations ont pour corollaire une baisse de leur compétitivité économique. Certaines peuvent l'absorber sans problème, d'autres pourront le gérer avec un peu plus de difficultés, mais pour une troisième catégorie, il convient de s'interroger sur les conséquences.





Comment élaborer des vins répondant aux attentes des consommateurs ?

Introduction

Jean-Luc BERGER - Directeur Technique ITV France
210, boulevard Vermorel - BP 320 - 69661 VILLEFRANCHE SUR SAÔNE CEDEX

Le modèle français des appellations d'origines contrôlées, remarquable à de nombreux égards, ne s'applique véritablement que sur une partie limitée de la production évaluée à environ 25 %. Pour la majorité des volumes de vin commercialisés dans le monde, c'est le marketing de la demande qui prévaut.

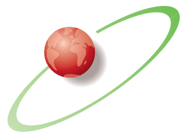
Ainsi le consommateur, se retrouve au centre des préoccupations de tous les opérateurs de la filière. La difficulté se situe au niveau de la définition des attentes des consommateurs et de leur diversité.

Il convient de prendre en compte un ensemble d'éléments en partant des goûts très différents selon la culture, l'âge… les modes de consommation qui peuvent être au restaurant, en famille, festif… des préoccupations nouvelles en matière de santé, de sécurité alimentaire et de respect de l'environnement.

La réponse de la production est donc complexe et nécessite une définition des produits correspondant aux différents segments de marché identifiés. Cette réponse peut être analysée au niveau d'un vignoble et/ou d'une entreprise, selon l'échelle considérée. C'est la raison pour laquelle, dans le cadre du colloque Mondiaviti, nous avons choisi d'innover en abordant des sujets qui essaient d'explorer cette interface entre la technique et le marketing.

Des nouveaux outils techniques permettant de mieux gérer les itinéraires de production et d'élaboration seront présentés.
Des données sur les différents modes d'opturation permettront d'aborder un des aspects du packaging.
La perception de la typicité par le consommateur sera développée à la suite d'un projet européen.
Et enfin, nous aborderons les attentes du consommateur par différentes approches complémentaires.

Cette évolution significative des conférences de Mondiaviti constitue la première pierre à la progression du marché mondial du vin et je l'espère en redressement de la compétitivité de la filière viti-vinicole.





PRODUITS POUR LES PROFESSIONNELS : RESPECTER LES CONDITIONS D'EMPLOI

Le marché, ses modes de consommation et les attentes des consommateurs

Richard SPURR
Winefinder Ltd - Conseiller en entreprises viticoles

APPROCHE GÉNÉRALE

Aujourd'hui le marché du vin n'a jamais été aussi concurrentiel, avec de plus en plus de producteurs dans l'arène afin d'avoir une part de marché en croissance. Il est devenu indispensable pour les producteurs, petits et grands, de comprendre les attentes des consommateurs. C'est-à-dire les caractéristiques recherchées par les consommateurs dans différents styles de vin.

Depuis de nombreuses années il y a eu pléthore des études économiques et socio-économiques sur le marché du vin et son consommateur, menées par des organismes, instituts et sociétés privées. Après une première lecture, il en ressort généralement que : la majorité des ventes de vin (90 %) se regroupe dans les segments basic à premium (au nombre de trois), alors que l'on identifie plusieurs catégories de consommateurs leur nombre varie selon la méthode de catégorisation.

Ainsi à travers ces résultats, on peut donc cibler ces catégories en élaborant des produits adaptés et des campagnes publicitaires. Evidement la capacité d'un produit à correspondre aux attentes des consommateurs déterminera sa réussite ou non. Donc l'identification des éléments essentiels pour une cible donnée est cruciale pour l'acceptabilité du produit, et donc son succès.

De nombreux facteurs ont été identifiés comme déterminants lors de la décision d'achat d'un vin. Les notions de prix, marque et origine sont incontournables ainsi que la perception de « statut social » lors de l'achat des vins super premium - icons. Le french pardox joue aussi son rôle lors de l'achat.

Récemment de nouvelles clefs pour mieux comprendre le comportement et les attentes des consommateurs ont vu le jour. Elles permettraient l'identification des groupes aux « états d'esprit » similaires. Ces études sont basées sur l'assomption qu'il existe différents segments de consommateurs qui recherchent, chacun, des caractéristiques précises, tel que certaines familles d'arômes. Cette segmentation s'appuie sur des profils psychologiques généraux. Il est donc vraisemblable que cette nouvelle segmentation explique bien le rôle des facteurs historiquement reconnus tel que la notion de marque et sa capacité à satisfaire les attentes du consommateur.

LES VINS BASIQUES ET POPULAR PREMIUM

La mode de consommation de vin a évolué, et le vin n'est plus qu'un simple produit de table. Le vin se boit dans des bars, pubs, clubs lorsque les gens sortent. Ce type de consommation est majoritairement porté sur des vins basiques- popular premium, car, comme toujours, le prix est un facteur déterminant.

Dans ce contexte on identifie les *Chardonnay Girls* et les *Merlot Men* qui sont a priori des jeunes ou nouveaux consommateurs qui boivent du vin lors des sorties en ville (bars clubs…) qui cherchent surtout des vins de marque ou de cépage. En choisissant ainsi ils s'attendent à boire des vins sucrés et fruités, mais toujours sans structure.

Dans le même contexte il y a des consommateurs plutôt traditionnels qui choisiront de boire du vin lors des sorties sociales (bar pubs…) ou à domicile avec ou sans amis, hors et pendant les repas. Leur choix se portera également sur des vins de cépage, et ils auront une préférence pour des vins de marque ou d'une région. Ils recherchent aussi des vins faciles, fruités, aromatiques et sucrés, mais ne s'attendent pas à des vins tanniques (cas des vins rouges). Ces consommateurs sont souvent catégorisés comme *easily pleased* (facilement satisfaits) ou *entertainers* (hôtes).

LES VINS POPULAR PREMIUM - PREMIUM

Les vins du segment popular premium - premium ne sont pas obligatoirement consommés à table. Les jeunes ou consommateurs récents choisissent parfois des vins de ces catégories pour « expérimenter » lors de l'apéritif, ou lors d'une discussion entre groupe d'amis restreints. En même temps ces consommateurs choisiront des vins de ce segment lors de sorties au restaurant ou lorsqu'ils invitent des amis à dîner. Ils privilégient le style *nouveau monde* (fruité, droit sucré) et les vins de marque.

Dans ces segments on rencontre aussi les consommateurs plus traditionnels, qui achètent du vin primordialement pour la table. Ces consommateurs ont en général une connaissance du monde vinicole, et identifient les cépages et les régions productrices. De même que les autres catégories de consommateurs, ils ont une bonne connaissance des vins de marque, mais sont plus susceptibles d'acheter des vins traditionnels. Lors de l'achat d'un vin de marque ils s'attendent à boire un vin fruité et aromatique. Mais lors de l'achat d'un vin plus traditionnel ils acceptent plus de complexité et l'expression de terroir. Cette catégorie est souvent nommée comme classic connaisseurs.

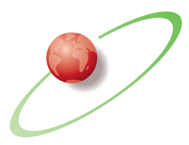
Enfin on identifie aussi les enthusiasts (enthousiastes). Ces « enthousiastes » n'ont pas une grande connaissance du vin mais cherchent à s'éduquer. Ils recherchent plutôt des vins européens et s'identifient plus aisément avec cette image traditionnelle du vin. Lors de l'achat ces consommateurs cherchent des informations sur la provenance du vin (contre étiquette plus explicative ou support marketing) et apprécient plus des vins élevés.

LES ATTENTES : GOÛT ? RÉGION ? OU PRIX ?

En somme, en identifiant et étudiant ces différents comportements, apparaissent plusieurs groupes de consommateurs pour chaque segment du vin. Il semblerait que l'effet de marque rassure énormément, son prix (régulièrement en promotion) et que sa simplicité (cépage/région) pousse le consommateur à acheter.

La majorité des ventes des vins actuellement concerne les vins fruités, aromatiques et avec une certain sucrosité, mais il reste de la place pour les vins plus individuels et complexes notamment dans le secteur premium.

Avec le marketing agressif mis en place par les grands groupes ces dernières années tout consommateur s'attend à voir les vins en promotion et fait très souvent ses choix d'achat en fonction.



Perception de la typicité de vins rouges
par les consommateurs en France et en Allemagne

Résultats du programme européen de recherche TYPIC : Perception consommateur et caractérisation instrumentale des produits alimentaires typiques en Europe, 2003-2005, QLK1-CT-2002-02225, www.typic.org

Pr Georges GIRAUD - ENITA de CLERMONT-FERRAND - giraud@enitac.fr
Dr Ulrich FISCHER - Centre de recherche œnologie - PFALZ - Allemagne
Dr Annick LEBECQUE - ENITA de CLERMONT-FERRAND
Dr Véronique CHEYNIER - INRA - UMR SPO - MONTPELLIER

PARTENAIRES SCIENTIFIQUES

ENITA de Clermont (coord.) Fr ; IFR Norwich UK ; DLR Pfalz Neustadt Ge ; CSIC Sevilla Sp ; INRA UMR SPO Montpellier Fr ; INRA UMR Sensométrie Nantes Fr ; CITA Saragosse Sp ; Univ. Technologique de Munich Ge ; CRAW Gembloux Be ; Fac vétérinaire Saragosse Sp.

PARTENAIRES PROFESSIONNELS POUR LE VIN

SICAREX Beaujolais ; Supermarchés CHAMPION ; Chambre d'Agriculture de Pfalz Ge ; EcoZept Munich Ge.

OBJECTIF

L'objectif scientifique principal du projet a été de croiser la caractérisation instrumentale et la perception consommateur des produits alimentaires typiques de manière à développer, promouvoir et contrôler la typicité. La typicité est un trait de caractère unique distinctif du produit, elle est très souvent un lien au lieu (conditions pédo-climatiques, savoir-faire particulier des producteurs). le projet porte sur deux familles de produits : le vin type beaujolais et Dornfelder, le jambon sec type Auvergne, Bayonne, Teruel et Iberico.

PROTOCOLE

- **A.** Sélectionner à dire d'experts des produits typiques et des produits ordinaires dans les familles concernées : trente vins rouges par pays (France, Allemagne) et vingt jambons secs par pays (France, Espagne), soit cent produits.
- **B.** Recruter un panel scannerisé parmi les consommateurs des produits visés et observer leurs achats chez un distributeur sur un an.
- **C.** Mesurer les préférences sensorielles des panélistes et leur perception de la typicité.
- **D.** Etablir les profils sensoriels des produits sélectionnés.
- **E.** Tester plusieurs méthodes instrumentales pour caractériser la typicité des produits sélectionnés (chromatographie, spectrométrie, RMN, électrophorèse…).
- **F.** Identifier les méthodes optimales de caractérisation de la typicité des produits.
- **G.** Etablir la corrélation entre données instrumentales et données consommateurs pour qualifier le caractère objectif et/ou subjectif de la typicité perçue.
- **H.** Formuler des recommandations pour construire, promouvoir et contrôler la typicité sur le marché alimentaire européen.

MESURE DE LA TYPICITÉ

La typicité des échantillons a été établie à dire d'experts. Un produit est dit typique lorsqu'il est représentatif de sa catégorie et différent des produits standardisés. A ce titre, les mesures de typicité réalisées ont pris soin de se focaliser sur plusieurs stéréotypes appartenant à la catégorie. Le projet s'est aussi intéressé à des archétypes, aux traits distinctifs éloignés du prototype idéal, mais appartenant sans aucun doute à la catégorie : par ex. des Beaujolais Crus ont fait partie des échantillons au même titre que des Beaujolais Village, le Beaujolais nouveau étant exclu. Les mesures effectuées, tant en profil sensoriel qu'en analyse physico-chimique ont permis de différencier les produits entre eux, tout en caractérisant les traits fondant cette différenciation sans aucune référence à une quelconque norme. Les données ont mis en lumière l'existence d'espaces sensoriels regroupant plusieurs échantillons, sans chercher à identifier de prototype central.

RÉSULTATS DES TESTS SENSORIELS

Les profils sensoriels réalisés indiquent une bonne discrimination entre échantillons. Pour les Dornfelder, les profils des vins de domaines sont assez différents de ceux des coopératives et des vins de négociants manipulateurs, avec une certaine diversité de positionnement dans l'espace sensoriel. Pour les Beaujolais, les Crus se distinguent nettement des Villages et des autres Beaujolais, plus centraux dans l'espace sensoriel.

Les tests de préférence réalisés en France avec des consommateurs naïfs ont permis d'identifier quatre groupes positionnés autour d'un axe de curiosité avec appréciation des vins allemands d'une part, et d'un axe de familiarité avec des vins couramment achetés d'autre part.

La représentation croisée France-Allemagne des cartes de préférences indique une nette préférence pour les vins de son pays d'origine. On décèle également quelques dégustateurs ouverts au goût étranger, surtout en France. Passer d'un test en aveugle à un test sur les mêmes échantillons identifiés améliore les notes de préférence mais ne change pas leur orientation. On note que la plupart des dégustateurs semblent plus sévères (ou plus exigeants) face aux échantillons identifiés, surtout pour les Beaujolais.

Les consommateurs allemands semblent plus généreux dans leurs appréciations, mais les préférences des dégustateurs français sont deux fois plus diverses. Est-ce le signe d'une plus forte attente ou d'une meilleure aptitude à discriminer ? Peut-être un peu des deux. Les dégustateurs allemands paraissent plus sensibles à l'identification fournie par le nom de marque, ils sont notamment plus réactifs aux mots magiques Château, ou Domaine. Dans les deux pays, un vin a tout de suite moins bon goût lorsqu'on découvre qu'il est vendu par un distributeur.

Dans l'ensemble, les facteurs sensoriels de préférence sont la couleur sombre, le goût de cerise aigre, le corps fruité, une faible acidité, et l'astringence pour les Dornfelder ; pour les Beaujolais ce sont le corps fruité, l'astringence et la couleur légère. Ces traits sont à l'œuvre dans les tests en aveugle, mais subissent ensuite l'influence de l'effet du nom de marque. Les mesures de typicité faites par les jurys d'experts et les tests consommateurs sont convergents : des goûts relativement stéréotypés pour un grand nombre, et une minorité, plus présente en France, de consommateurs ouverts aux vins aux traits plus marqués, ou aux vins exotiques.

Ces tests ont nécessité une logistique particulièrement lourde et onéreuse pour acheminer les mêmes échantillons au même moment dans dix laboratoires en Europe. Les tests de préférence se sont déroulés dans les magasins habituels des consommateurs, en pleine campagne d'information et de répression sur la conduite en état alcoolique en France, si bien que le taux final de présence aux tests représente 10 % du nombre initial de panélistes.

RÉSULTATS DES MESURES DE COMPORTEMENT D'ACHAT

Le projet a permis de réaliser une mesure de l'arbitrage entre attributs commerciaux effectuée par les consommateurs (analyse conjointe), et une mesure du choix final prix / quantité. En France, les comportements d'achats ont été enregistrés pendant un an grâce au distributeur partenaire[1], à l'aide de données de panel, cela n'a pas été possible en Allemagne.

[1] S'agissant d'achat de vin Beaujolais en Auvergne, la mesure en supermarché s'est avérée satisfaisante, quoiqu'indiquant une fréquence faible d'achat.

La mesure d'arbitrage a distingué quatre attributs origine, nom de marque ou type de producteur, millésime, prix ; avec deux ou trois modalités distinctes pour chaque. Chaque consommateur doit classer dix cartes représentant les différentes combinaisons d'attributs retenues (/54 possibles). Chaque carte offre un visuel très proche de l'étiquette usuelle des produits, image mise à part.

Les attributs sont, par ordre décroissant, pour la France : le prix (comme prédicteur de qualité), l'origine régionale et le nom de domaine ; en Allemagne, ce sont l'origine locale, le prix (intermédiaire) et le nom de domaine.

Au terme des tests sensoriels, du questionnaire d'attitude et de l'analyse conjointe, les consommateurs encore présents se sont vus récompensés par la proposition d'emporter avec eux un lot à choisir parmi trois, chaque lot ayant la même valeur marchande : trois bouteilles de vin MDD (marque de distributeur), deux bouteilles de vin typique de domaine, une bouteille de vin étranger. Le vin de domaine emporte partout la majorité des choix. En France, le vin étranger est très proche du premier choix, en dépit d'une seule bouteille à emporter, et le vin MDD est rejeté, malgré les trois bouteilles offertes. En Allemagne, le vin étranger est clairement rejeté.

Les données d'achat enregistrées en France par la méthode des panels indiquent une nette élasticité négative de la demande par rapport au prix. Elles signalent également l'influence du merchandising en magasin conduisant à promouvoir le vin MDD avec une certaine efficacité.

CONCLUSION

Il est intéressant d'observer que le comportement d'achat conduit rarement à un choix unique de fidélité, mais il ne conduit pas non plus à une recherche de variété très ouverte. La production locale sert souvent pour la consommation quotidienne. Dans l'ensemble, le comportement d'achat reste sensible à l'influence de la marque, et à l'effet de contexte saisonnier. La fréquence d'achat ordinaire de vins typiques est très faible, mais peut être soudainement sensible selon les occasions de consommation.

L'effet du prix est double et opposé. Pour la plupart des consommateurs, le rapport qualité/prix domine, avec une fréquence notable d'achat de vin avec MDD. Pour un segment plus étroit mais plus sélectif de consommateurs, le prix (élevé) est utilisé comme un indicateur de qualité (supposée).

En conclusion, il importe de rappeler que les vins rouges typiques sélectionnés ont bien supporté les analyses physico-chimiques. La diversité des produits est réellement établie et vérifiée de façon instrumentale. Les méthodes d'authentification discriminent bien les échantillons.

Les réponses des consommateurs envers la typicité des vins sont aussi diverses que les produits eux-mêmes. Une majorité confirme la loi de Pareto pour des attentes stéréotypées. Mais un segment significatif de connaisseurs, aux attentes sélectives mais curieux, est bien identifié. Ce segment est une opportunité, tant en France qu'en Allemagne, pour une consommation distante de produits typiques des régions d'Europe.

BIBLIOGRAPHIE

Albisu L.M., 2003. Improving the symbiosis between winemakers and consumers (Editorial). Eurowine, 15.

Casabianca F., Giraud G., *et al.*, 2006. Terroir et typicité : propositions de définition pour deux notions essentielles à l'appréhension des indications et du développement durables, in Terroirs viticoles 2006, vol. 2, actes du VI[e] congrès international des terroirs viticoles, 2-8 juillet, Bordeaux, 544-551.

Cheynier V. 2005. Development of a rapid quantitative and qualitative method to analyse proanthocyanidins in red wines. XXII[e] International Conference on Polyphenols, 25-28/08/04, Helsinki, Finlande.

Cheynier V., S. Preys, G. Mazerolles, A. Samson, U. Fischer, J. Schröder, V. Lempereur, B. Labarbe, P. Courcoux, M. Hanafi, E. Vigneau, D. Bertrand, 2006. Approche chimiométrique de la typicité des vins, in les 15[e] entretiens du Beaujolais, avril, 4 p.

Colquhoun, I.J., G. Le Gall and Y.M. Gunning 'Can NMR profiling be used to measure wine quality?' in 'In Vino Analytica Scientia' conference, Montpellier, July 2005.

Fischer U, Schröder J., Schormann A., Speyer D., 2004. Typicality of Dornfelder red wine: analytical and sensory clues for consumer preferences. 1st European Sensory Symposium A sense of Identity, Firenze, 26-29 September.

Fischer U., J. Schröder, A. Samson, H.-G. Schmarr, V. Cheynier; Elucidation of markers for typicality in Beaujolais and Dornfelder red wines based on flavour and sensory analysis, Pacifichem Conference of the American Chemical Society, 19.12.2005, Honolulu, Haiwaii, USA.

Fischer U., Schröder J., 2004. Typicality of Dornfelder - Ideal and reality 57th Annual Viticulture Convention Pfalz 16.01.2004 in Neustadt, Germany.

Fischer U., Schröder J., Speyer D., 2004. Typicality of Dornfelder red wine: analytical and sensory clues for consumer preferences. 7th Internal Symposium "Innovation in Enology", Intervitis, 11 May, Stuttgart, Germany.

Fischer, U., V. Cheynier, *et al.*, 2005. Sensory markers for typicality in Beaujolais and Dornfelder red wines and their impact on consumer preference. in "In Vino Analytica Scientia", 7th - 9th of July, Montpellier, France.

Giraud G., 2004. Le goût se modifie tout au long de la vie d'un individu, interview par M. Ivaldi, Réussir Vignes, décembre, n°103, p.18.

Giraud G., *et al.*, 2005. Typical Food Products in Europe: Consumer Preference and Objective Assessment, Proceedings of the final public conference, December 15-16, Deliverable n° 16, European project TYPIC, QLK1-CT-2002-02225, December, 205 p. disponible sur www.typic.org

Lebecque A., Letort A., Giraud G., 2004. Trade-off between consumer's actual purchases and hedonist preferences towards typical red wines, in European Conference on Sensory Science of Food and Beverages, Firenze (Italy), 26-29 September.

Lebecque A. Fischer U., Samson A., Letort A., Giraud G., 2006. Explorer, brand prone and connoisseur: three different profiles to appreciate red wines from France and Germany, in A Sense of Diversity, 2nd European Conference on Sensory Science of Food and Beverage, the Hague, NL, 26-29 September.

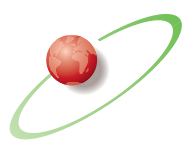
Preys S., 2004. Development of a rapid quantitative and qualitative method to analyse proanthocyanidins in red wines. XXIIe International Conference on polyphenols, Helsinki (Finland), 24-28 August 2004.

Preys S., Souquet J.M., Meudec E., Morel-Salmi C., Cheynier V., 2004. Development of a rapid quantitative and qualitative method to analyse proanthocyanidins in red wines. XXIIe International Conference on polyphenols, Helsinki (Finland), 24-28 August.

Preys, S., Fischer, Cheynier, V., *et al.*, 2006. Relationship between polyphenolic composition and some sensory properties in red wines using multiway analyses, Analytica Chimica Acta, in press.

Sanjuán A.I., Albisu L.M., 2004. Factors affecting the positioning of wineries based on the value added by the D.O. certification. Acta Agriculturae Scandinavica - Section C, Food Economics 1: 163-175.

Schröder J., U. Fischer; Typicality of the varieties Dornfelder and Gamay; Identification of sensory relevant flavour compounds by GC/Olfactometry; In Vino Analytica Scientia, 7th - 9th of July 2005, Montpellier, France.



Des réponses packaging :

Evaluation de différents modes d'obturation Perméabilité gazeuse

Paulo LOPES - Professeur à la Faculté d'œnologie de Bordeaux
Université Victor Segalen Bordeaux 2 UMR - 1219 INRA - 351, Cours de la Libération - 33405 Talence Cedex

INTRODUCTION

Le vieillissement en bouteille correspond à une évolution du vin, vers une qualité organoleptique supérieure à celle qu'il possédait au départ. La couleur des vins rouges diminue d'intensité et la teinte vire vers un rouge tuilé. En même temps, les vins tendent à s'assouplir et le bouquet apparaît, résultat de réactions complexes correspondant à l'harmonisation des arômes de raisin, de fermentations et d'élevage. Lors de cette phase, le vin est susceptible d'être plus ou moins enrichi en oxygène en fonction de l'étanchéité du dispositif d'obturation ; de leur perméabilité à l'oxygène dépend l'évolution du vin[1].

Pasteur (1873) avançait que « *l'oxygène est le pire ennemi du vin* », mais aussi « *c'est l'oxygène qui fait le vin, c'est par son influence qu'il vieillit* »[2]. Aujourd'hui il est acquis qu'une oxydation poussée est plutôt défavorable, alors qu'une dissolution lente et continue d'oxygène est susceptible de jouer un rôle positif sur l'évolution de la couleur et de la saveur des vins rouges[3]. En revanche, la qualité des vins blancs est généralement altérée par une exposition à l'oxygène[4].

Ribéreau-Gayon (1933) a été le premier à mettre en évidence le passage d'oxygène à travers les bouchons en liège naturel durant le vieillissement en bouteille : 0,10 à 0,38 mL d'O2 diffuse pendant les 3 premières semaines de conservation, puis de 0 à 0,07 mL pendant les 4 mois suivants[5]. Toutefois, il a considéré que ces quantités d'oxygène étaient infiniment petites, voire nulles. L'auteur concluait alors que « l'oxygène n'est pas l'agent du vieillissement normal en bouteille ». Depuis ses travaux, toute la technique de bouchage a évolué, tant au niveau des bouteilles, boucheuses et obturateurs.

Des études réalisées récemment ont montré que le choix de l'obturateur entraîne des conséquences majeures sur la qualité des vins pendant le vieillissement en bouteille. Les vins obturés avec des capsules à vis développent des caractères aromatiques de réduction (caoutchouc, sulfites, choux), tandis que ceux obturés avec des obturateurs synthétiques conduisent à une sensibilité accrue vis-à-vis des phénomènes oxydatifs comparativement au bouchage en liège et surtout aux bouchons en liège aggloméré et composite[6-9]. Ceci a été attribué aux différences de perméabilité des obturateurs à l'oxygène[6].

MESURE DE LA DIFFUSION D'OXYGÈNE À TRAVERS DIFFÉRENTS OBTURATEURS PAR COLORIMÉTRIE

Principe de la méthode et étalonnage

Dans ses travaux, Ribéreau-Gayon (1933) avait développé plusieurs techniques de dosage de l'oxygène, parmi lesquelles une méthode respectant l'intégrité du bouchage (sans ouverture de la bouteille) permettant ainsi de contrôler la diffusion d'oxygène durant la conservation en bouteille[5]. Cette méthode met en jeu des réactions d'oxydation-réduction du carmin indigo : sa forme oxydée est bleue, sa forme réduite jaune. En additionnant du dithionite de sodium (réducteur très puissant) à une solution aqueuse de carmin indigo, elle devient jaune. Celle-ci redevient progressivement bleue au contact de micro-quantités oxygène, totalement consommées par la solution de carmin d'indigo réduite. Pour rendre cette méthode plus précise, ces changements de couleur sont mesurés par spectrocolorimétrie (L*, a*, b*) directement à travers la bouteille[10].

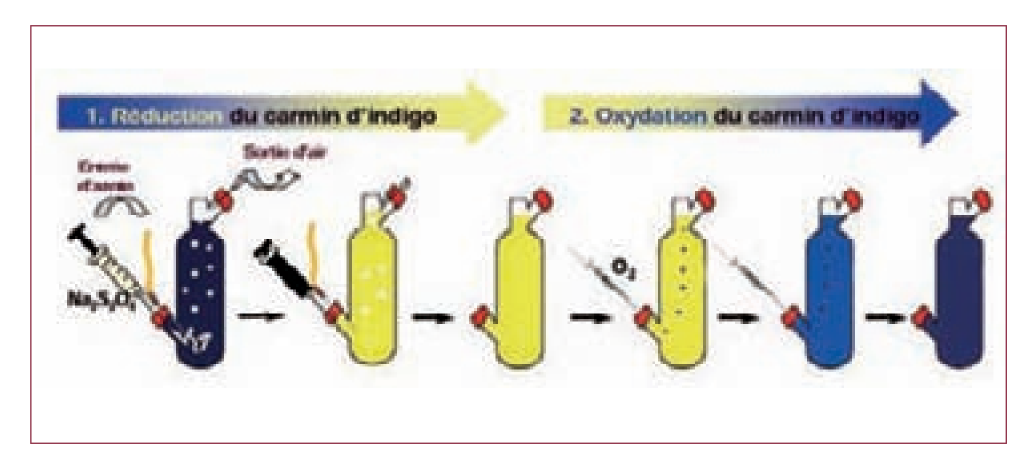


Figure 1 : Étalonnage de la méthode (réduction et oxydation de la solution de carmin indigo en bouteille étalon).

Le développement de la méthode est réalisé en deux phases : Une première phase d'étalonnage, où une relation exponentielle décroissante est établie entre la coordonnée chromatique de couleur L* et les ajouts d'oxygène à la bouteille compris entre 0,25 mL et 2,5 mL d'oxygène. La deuxième phase correspond à l'application de la méthode aux bouteilles commerciales obturées avec différents types d'obturateurs (figure 2).

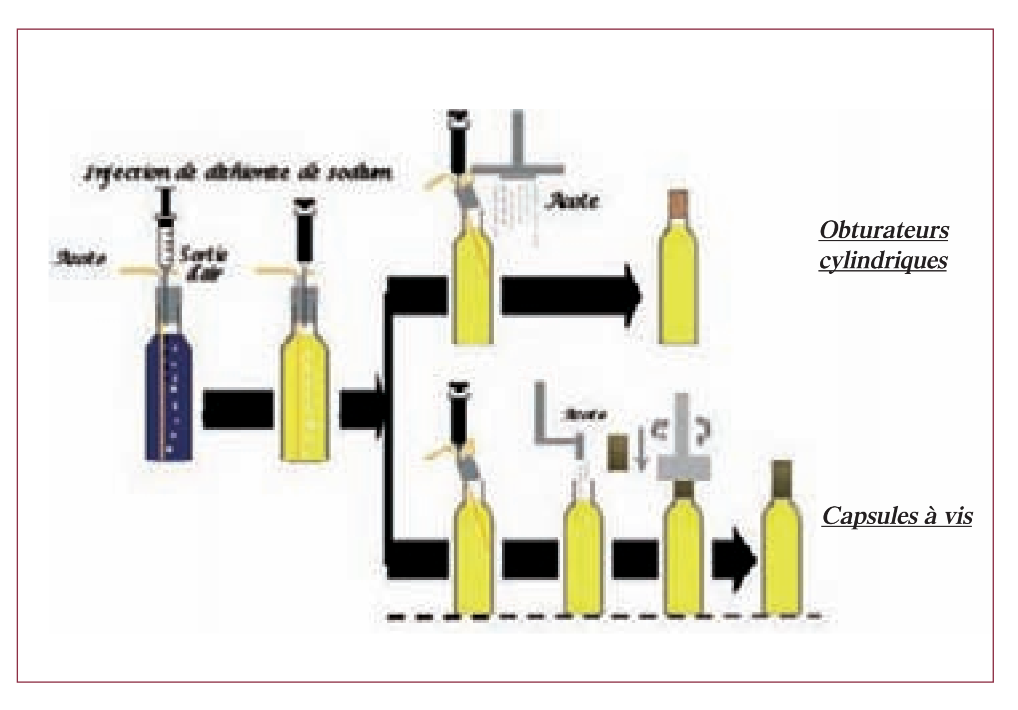


Figure 2 : Procédure de réduction d'une solution de carmin d'indigo en bouteilles commerciales et bouchage avec des obturateurs cylindriques et capsules à vis.

Perméabilité des différents obturateurs Effet de la position de conservation

Cette technique a été appliquée à des bouteilles commerciales (375 mL) bouchées avec différents types d'obturateurs, afin d'étudier leur perméabilité et les cinétiques respectives de diffusion de l'oxygène.

Les obturateurs testés étaient : deux bouchons en liège naturel de différentes qualités (fleur et première), un Twin Top (aggloméré 1+1), un bouchon Neutrocork et deux synthétiques (Supremecorq et Nomacorc). Pour la première fois, une technique innovatrice de bouchage en verre scellé à feu est utilisée (témoin)[10]. Les bouteilles ont été stockées en position horizontale et verticale pendant 36 et 24 mois respectivement, à une température de 20 °C (± 1).

Plus récemment, des études de perméabilité ont été réalisées sur quatre capsules à vis : Stelvin, Auscap, Cospak et CSA. Toutes les capsules comportaient des joints en étain. Les bouteilles ont été conservées en position horizontale pendant 12 mois à une température de 20 °C (± 1).

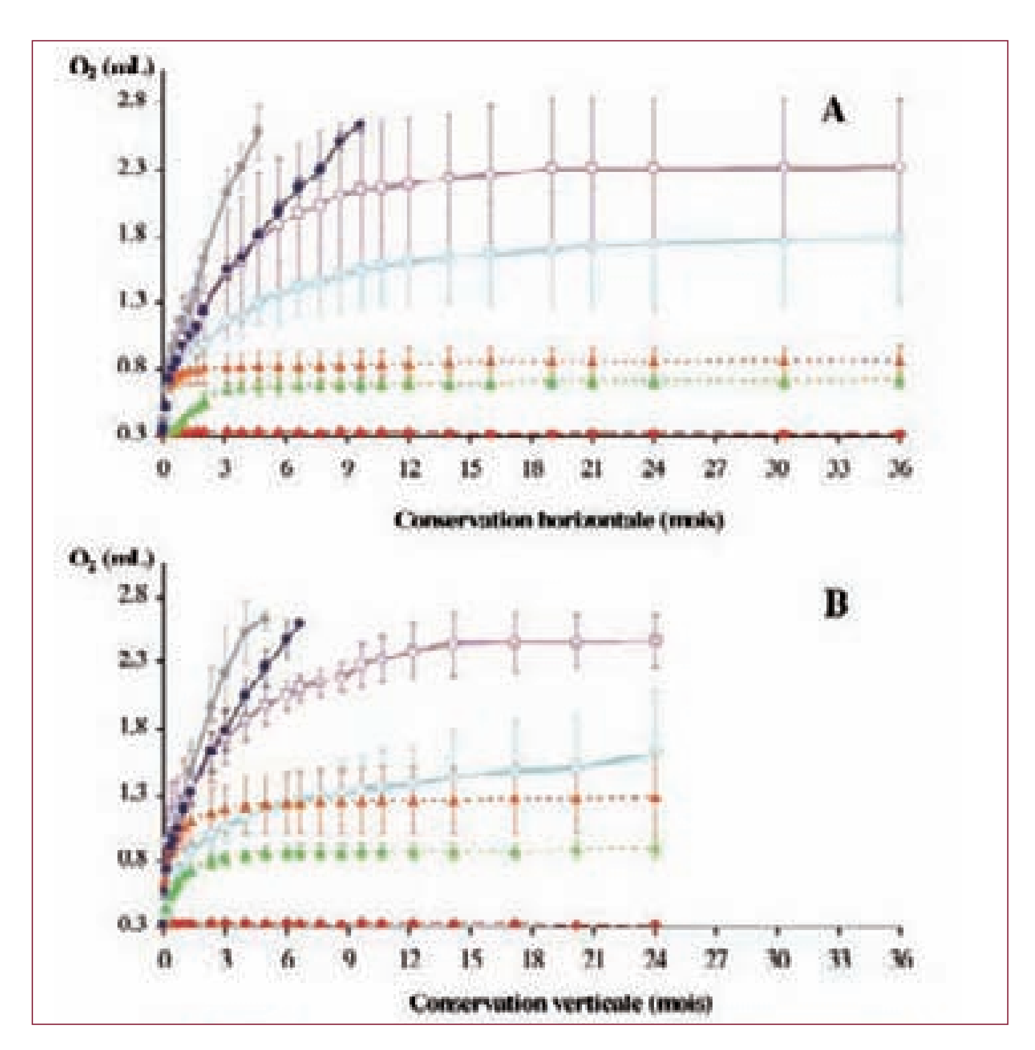




Figure 3 : Cinétique de diffusion de l'oxygène à travers différents obturateurs pendant 36 mois de conservation horizontale (A) et 24 mois de conservation verticale (B).

Après 36 mois de conservation en position horizontale, seul le bouchage en verre (témoin) s'est avéré complètement étanche ; tous les autres obturateurs sont perméables à l'oxygène (figure 3A). Le premier mois de conservation est la période où la diffusion d'oxygène est la plus élevée, variant de 15 µL/jour (Neutrocork) à 37 µL/jour (Supremecorq). Cette diffusion représente, dans le cas des bouchons en liège dit technique, 90 % de la quantité totale d'oxygène diffusé pendant les 36 mois de conservation. Dans le cas des bouchons en liège naturel, la diffusion de l'oxygène ne représente que 30-50 % et dans le cas des synthétiques, 35-45 % de l'oxygène total diffusé.

Les bouchons en liège naturel présentent des taux de diffusion (> 1 mois) variables, mais restent dans des valeurs comprises entre 1,7 et 6,1 µL d'oxygène par jour (2 à 12 mois de stockage) et 0,1 à 2,3 µL d'oxygène par jour (12 à 36 mois de stockage) *(tableau 1)*. Ces résultats montrent que les quantités d'oxygène qui diffusent à travers des bouchons en liège naturel sont beaucoup plus élevées que celles rapportées par RIBEREAU-GAYON (1933)[5].

Les synthétiques se sont révélés les plus perméables, présentant des taux de diffusion à l'oxygène de 11 à 15 µL/jour pour le Supremecorq et 6 µL/jour pour le Nomarcorc. Les bouchons en liège dit technique (Twin Top et Neutrocork) se sont révélés être les moins perméables à l'oxygène en laissant pénétrer de 0,1 à 0,4 µL d'oxygène par jour.

Lorsque les bouteilles sont conservées en position verticale sous température et humidité contrôlées, la cinétique de diffusion de l'oxygène est similaire à celle obtenue avec la conservation horizontale pour la majorité des obturateurs, du moins pendant les 24 premiers mois de conservation. L'augmentation de la perméabilité à l'oxygène apparaît seulement pour les bouchons synthétiques Nomacorc (+ 15 %) lorsque les bouteilles sont conservées en position verticale (figure 3B).

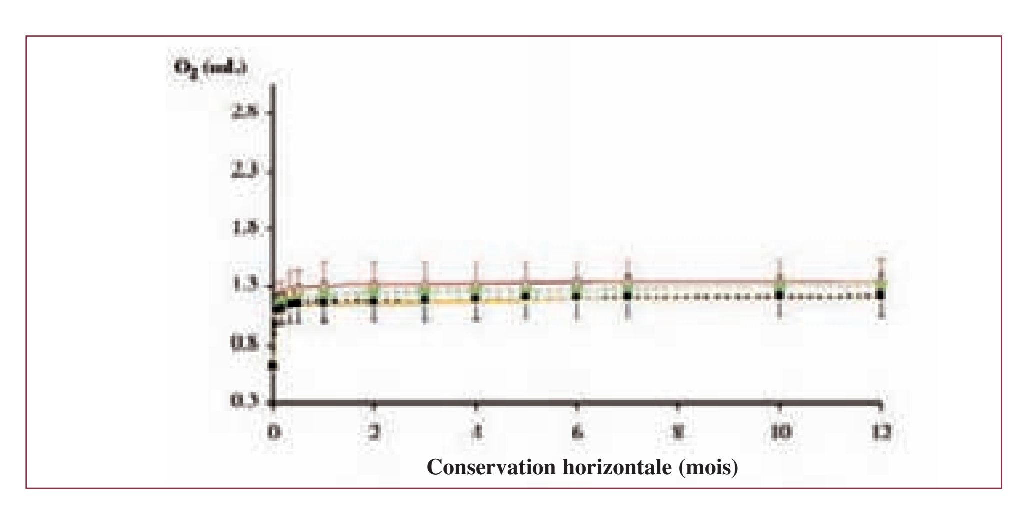




Figure 4 : Cinétique de diffusion de l'oxygène à travers différentes capsules à vis. Les bouteilles ont été stockées en position horizontale durant 12 mois.

La figure 4 représente la cinétique de diffusion de l'oxygène à travers différentes capsules à vis pendant 12 mois de conservation horizontale. Les résultats montrent que la diffusion d'oxygène est très élevée lors de la mise en bouteille (1,2 mL d'oxygène). Néanmoins, 0,7 mL d'oxygène ont diffusé lors de la mise en bouteille car les bouteilles de carmin indigo réduites sont exposées pendant quelques instants à l'oxygène atmosphérique avant l'insertion de la capsule.
Après cette première période, l'oxygène diffuse à travers la majorité des capsules à des taux de 0,2 à 0,7 µL par jour (tableau 1).

Obturateurs		Colorimétrie		Mocon	
	1er mois	horizontale	verticale	AWRI 1	Fabricants
Capsules à vis	< 500 ***a***	0,2 - 0,7	-	0,2 - 0,8	
Liège technique	15 - 40	0,1 - 0,4	0,1 - 0,9	0,6 - 1,3	
Liège naturel	25 - 45	1,7 - 6,1 ***b*** 0,1 - 2,3 ***c***	0,5 - 4,4 ***b*** 0,1 - 2,7 ***c***	0,1 - 122,7	
Nomacorc	30 - 40	6	8 - 9	-	5
Supremecorq	35 - 45	11 - 15	11- 12	-	11

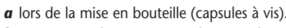

a lors de la mise en bouteille (capsules à vis).
b 2 - 12 mois de conservation horizontale et verticale.
c 12 - 36 mois (conservation horizontale) et 12 - 24 mois (conservation verticale).

Tableau 1 : Taux de diffusion de l'oxygène à travers différents obturateurs en fonction du temps de conservation. Comparaison avec les résultats obtenus dans d'autres études.

Les résultats obtenus expliquent les résultats des études réalisées sur vieillissement des vins en bouteille obturée avec différents types d'obturateurs. Généralement, les vins obturés avec des capsules à vis (peu perméables à l'oxygène) développent précocement des arômes de réduction (caoutchouc, sulfites, etc.)[6-9]. En outre, les obturateurs synthétiques conduisent au développement précoce des arômes d'oxydation et un brunissement de la couleur[6-9]. Les bouchons en liège présentent des performances intermédiaires[9].

CONCLUSION

Une méthode colorimétrique respectant l'intégrité du bouchon a été développée afin d'étudier la perméabilité à l'oxygène des différents obturateurs lors d'une conservation en bouteille (entre 0,25 et 2,5 mL d'oxygène). Après 36 mois de conservation horizontale, seul le bouchage en verre (témoin) s'est révélé complètement hermétique ; tous les autres obturateurs sont perméables à l'oxygène. Des groupes de perméabilité à l'oxygène sont ainsi formés en fonction de l'obturateur :

- Réduite (< **1 µL/mois)** : bouchons en liège technique et capsules à vis.
- Intermédiaire **(1 à 6 µL/jour)** : bouchons en liège naturel.
- Elevée (> **6 µL/jour)** : bouchons synthétiques.

La position de conservation a un faible effet sur la diffusion de l'oxygène à travers la majorité des obturateurs du moins pendant les 24 premiers mois de conservation.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Godden, P.; Lattey, K.; Francis, L.; Gishen, M.; Cowey, G.; Holdstock, M.; Robinson, E.; Waters, E.; Skouroumounis, G.; Sefton, M.; Capone, D.; Kwiatkowski, M.; Field, J.; Coulter, A.; D'Costa, N.; Bramley, B. Towards offering wine to the consumer in optimal condition - the wine, the closures and other packaging variables. A review of AWRI research examining the changes that occur in wine after bottling. *Wine Industry Journal* 2005, 20 (4), 20-30.

[2] Pasteur, l. Etudes sur le vin : ses maladies, causes qui les provoquent, procédés nouveaux pour les conserver et pour les vieillir. Imprimerie Royale (eds) : Paris, France, 1873, 264 pp.

[3] Ribéreau-Gayon, P.; Pontallier, P.; Glories, Y. Some interpretations of color changes in young red wines during their conservation. *J. Sci. Food Agric.* 1983, 34, 505-516.

[4] Singleton, V.L.; Trousdale, E.; Zaya, J. Oxidation of wines. I. Young white wines periodically exposed to air. *Am. J. Enol. Vitic.* 1979, 30, 49-53.

[5] Ribéreau-Gayon, J. Dissolution d'oxygène dans les vins. In contribution à l'étude des oxidations et réductions dans les vins. *Application à l'étude de vieillissement et des casses*, 2nd ed. ; Delmas : Bordeaux, France, 1933, 35 pp.

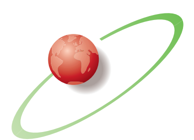
[6] Godden, P.; Francis, L.; Field, J.; Gishen, M.; Coulter, A.; Valente, P.; Hoj, P.; Robinson, E. Wine bottle closures: physical characteristics and effect on composition and sensory properties of a Semillion wine. Performance up to 20 months post-bottling. *Aust. J. Grape and Wine Res.* 2001, 7, 62-105.

[7] Mas, A.; Puig, J.; Llado, N.; Zamora, F. Sealing and storage position effects on wine evolution. *J. Food Sci.* 2002, 67, 1374-1378.

[8] Chatonnet, P.; Labadie, D. Caractéristiques physiques et comportement vis-à-vis de l'oxydation du vin de différents types de bouchons chevilles. *Rev. des Œnologues.* 2003, 106, 13-20.

[9] Skouroumounis, G.K.; Kwiatkowski, M.J.; Francis, I.L.; Oakey, H.; Capone, D.; Duncan, B.; Sefton, M.A.; Waters, E.J. The impact of closure type and storage conditions on the composition, colour and flavour properties of a Riesling and a wooded Chardonnay wine during five years'storage. *Aust. J. Grape and Wine Res.* 2005, 11, 369-384.

[10] Lopes, P.; Saucier, C.; Glories, Y. Nondestructive colorimetric method to determine the oxygen diffusion rate through closures used in winemaking. *J. Agric. Food Chem.* 2005, 53, 6967-6973.



Quels types de vins pour quel consommateur ?

Richard GIBSON - Conseil en œnologie - Australie

Le marché mondial du vin a indubitablement évolué au cours des 20 dernières années. Cette évolution est notamment marquée par le fait que dans les pays où la consommation de vins est en augmentation, les consommateurs ont une demande croissante pour des produits présentant certaines caractéristiques.

Les caractéristiques du vin, telles que perçues par les consommateurs, vont au-delà de la couleur, des arômes, du goût et de la texture du produit en bouteille. D'autres facteurs influent grandement sur les préférences des consommateurs. En voici quelques-uns :

- **Packaging** - L'attractivité du packaging peut jouer un rôle important dans l'acceptation du produit par le consommateur. Est-ce que l'image générale du conditionnement (forme de la bouteille, bouchage, couleur du verre, design de l'étiquette, de la capsule, caisse) plaît au groupe de consommateurs visé ?
- **Description du Produit** - Il est clair que les consommateurs de nombreux gros marchés dans le monde basent à présent leur choix sur les caractéristiques du cépage plutôt que sur la région ou même le pays d'origine. La marque peut également être un signal fort pour l'achat du vin. Par exemple, la marque Lindemans, vendue par Fosters Wine Estates, proposait autrefois uniquement des vins australiens. Elle offre à présent également des vins de cépages d'Afrique du Sud, du Chili, de Californie et de Nouvelle Zélande.
- **Le rapport qualité** prix perçu peut également influencer le choix.

Alors que les facteurs décrits ne peuvent être ignorés, l'impact de la couleur, des arômes, du goût et de la texture du vin joue un rôle clé dans la détermination des préférences des consommateurs.

Pendant de nombreuses années, le vin était produit de façon à correspondre aux styles traditionnels acceptés dans des régions établies. Les producteurs s'efforçaient de produire des vins empreints de « typicité », c'est-à-dire présentant un ensemble de caractéristiques reflétant la région dans laquelle la matière première poussait, et reflétant également les cépages et les pratiques œnologiques utilisées. Ces styles acceptés étaient vendus à des groupes de consommateurs établis, localisés dans des marchés stables et très habitués aux produits.

Les vinificateurs des pays et régions nouvellement producteurs adhéraient souvent à cette production de styles de vins traditionnels en l'imitant de façon servile. Sur le marché mondial, il n'y avait que peu de concurrence de la part de vins présentant des profils organoleptiques différents. Les nouveaux pays producteurs vendaient même leurs vins sous des noms de style traditionnel. La menace envers les producteurs établis de style de vins traditionnel était tenue.

Dans les segments haut et très haut de gamme du marché mondial du vin, les styles traditionnels et la typicité peuvent toujours être utilisés comme des outils de poids pour attirer le consommateur. Ainsi, des Bordeaux haut de gamme trouveront toujours des acheteurs prêts à dépenser de grosses sommes d'argent pour les acquérir. Cependant, sur les segments du marché mondial plus commerciaux et concurrentiels (entrée et cœur de gamme), les règles du jeu ont changé. Les producteurs ne peuvent plus compter sur la vente de vins traditionnels à des consommateurs traditionnels : En effet, le nombre de ces derniers dans les pays de consommation traditionnelle régresse en raison du changement générationnel qui impose de nouveaux modèles de consommation. A l'inverse, d'autres marchés de consommation non traditionnelle connaissent une augmentation au fur et à mesure que de nouveaux consommateurs découvrent le vin. Les consommateurs de ces marchés en pleine expansion déterminent de nouvelles directions dans les préférences des styles de vin, et ce à un niveau mondial.

Le modèle économique qui doit à présent être appliqué afin de réussir dans l'industrie du vin diffère du modèle traditionnel décrit plus haut. Il faut à présent que les entreprises productrices de vin :

1. comprennent le profil sensoriel du vin (couleur, arômes, goûts et textures) que tel ou tel groupe de consommateurs préfère sur un marché spécifique.
2. gèrent la viticulture, l'œnologie, le packaging et la distribution afin d'être en mesure de fournir le vin avec le profil sensoriel visé aux bons consommateurs et à un coût adapté.

Tout cela peut sembler simple et pourtant cela représente un défi énorme de faire fonctionner tous ces leviers de façon efficace. Les points suivants résument les façons dont on peut s'y prendre.

COMPRENDRE LES PROFILS SENSORIELS PLÉBISCITÉS

De nombreuses techniques peuvent être utilisées pour déterminer les styles plébiscités sur des marchés spécifiques :

- Déguster les vins leaders sur les marchés et déterminer leurs caractéristiques clés en utilisant des méthodes d'analyses sensorielles standardisées.
- Travailler avec des collaborateurs connaissant bien le marché, tel que des acheteurs ou des courtiers, afin de concevoir un produit qui sera bien perçu par les clients. Ces collaborateurs peuvent être considérés comme des porte-parole des consommateurs, ou des gardes-barrières, c'est-à-dire des personnes dont l'approbation est nécessaire pour pénétrer le marché.
- Mener des études de marché formelles sur les aspects sensoriels. Cet exercice peut être onéreux, néanmoins il peut donner une véritable idée sur les préférences des consommateurs. Plusieurs entreprises américaines de la filière emploient des spécialistes de la sensorialité et mènent des études de marché pour faire correspondre tel style de vins à tel segment de consommateurs.
- Mettre différents vins en marché et utiliser ensuite les techniques de retour marché ou contrôler tout simplement les ventes afin de déterminer quels vins réussiront à plus long terme. Des techniques nouvelles sont à présent disponibles permettant, en utilisant des systèmes qui s'appuient sur Internet, d'obtenir un retour marché réel et des données comparatives. Collaborer avec les consommateurs de cette façon peut aider à produire des vins plus en adéquation avec les préférences du marché.

Toutes ces techniques requièrent la capacité d'écouter et d'entendre réellement ce que les consommateurs et leurs porte-parole (tels que les acheteurs et les courtiers) ont à dire.

CONTRÔLER LE PROCESSUS DANS SON ENTIER AFIN DE PRODUIRE LE PROFIL DE VIN VISÉ

C'est une chose de savoir ce que le marché veut. Mais c'est un défi énorme de contrôler le processus complet de la production du vin (viticulture, œnologie, élevage, embouteillage, packaging, distribution) afin de produire un vin qui corresponde à la demande des consommateurs ciblés.

Les défis peuvent être d'ordre technique, légal ou encore liés à la structure de l'entreprise :

- Parmi les défis techniques, l'on trouve des facteurs tels que la gestion du feuillage de la vigne, la sélection des levures, le choix des pratiques d'élevage avec le bois, le choix du bouchage et le contrôle des conditions de transport du vin. Comprendre les liens de cause à effet est important, afin que les facteurs clé contribuant au style de vin puissent être gérés de manière logique et reproduits. Par exemple, la pratique suivante est en train de se généraliser en Australie : gérer différemment dans un même vignoble des sous-parcelles du même cépage pour produire des styles de vin très différents, grâce aux techniques de viticulture de précision assistées par GPS.
- Les problématiques légales peuvent freiner la flexibilité dont doivent faire preuve les producteurs pour produire les styles de vins recherchés. Là où les styles traditionnels sont retranchés derrière la législation, il est très difficile de mettre en œuvre des changements de cépages, de techniques viticoles et de procédés œnologiques afin de répondre aux besoins du consommateur.

- La structure des entreprises peut avoir un impact sur leur capacité à livrer des produits avec le style recherché au bon endroit. Les entreprises intégrées verticalement qui gèrent la viticulture, l'œnologie, le packaging et la distribution peuvent exercer plus de contrôle sur les caractéristiques du produit final que les entreprises dont la structure repose sur d'autres sociétés pour des étapes clés du processus. Les entreprises dont la gamme de vins est limitée (une région, un cépage, un style) peuvent également avoir une flexibilité réduite d'évolution et d'adaptation aux tendances du marché et pourront connaître plus de difficultés à répondre aux besoins de plus d'un seul et unique groupe de consommateurs.

Il est intéressant de souligner que le premier des quatre thèmes du programme *Research, Development and Extension* de l'Australian *Wine Research Institute* dévoilé récemment est intitulé « Raisin et composition du vin : améliorer la définition de la composition du vin et la contrôler afin de mieux répondre aux cahiers des charges du produit et aux attentes du consommateur et d'apporter des améliorations ciblées aux procédés de production ». Ce sujet de recherche expose clairement le fait que l'industrie viti-vinicole australienne a l'intention d'en apprendre plus sur les attentes des consommateurs et sur les façons d'améliorer les produits afin qu'ils correspondent aux préférences du marché.

Que savons-nous des tendances des préférences du consommateur dans le monde du vin ? Mes commentaires concernent principalement les marchés où la consommation est croissante, tels que le Royaume-Uni, les Etats-Unis et le Canada, plutôt que les marchés domestiques de France, Italie et Espagne, qui, eux, sont en déclin.

Pour les vins blancs, je crois que la préférence mondiale est donnée à la fraîcheur aromatique et gustative actuellement.

Les vins blancs produits en conditions réductives et très axés sur le fruit, tels que le Sauvignon blanc de Nouvelle Zélande, se portent très bien sur des marchés tels que le Royaume Uni. Un travail considérable a été mené pour éviter que ce style de vin ne ressemble aux vins d'antan herbacés et axés sur la méthoxypyrazine et les orienter plutôt vers des notes de fruit de la passion et de buis. Conserver la fraîcheur du produit après la mise en bouteille en utilisant la capsule à vis joue également un rôle important pour que ce style de vin frais et fruité soit conservé jusqu'à ce que le consommateur ouvre sa bouteille.

Dans le monde, le vin blanc présentant davantage d'arômes secondaires, tel que le Chardonnay très marqué par le bois et les styles oxydatifs neutres, est en chute libre dans la plupart des marchés émergents.

Un vin blanc qui est éventé, fatigué et terne avant d'arriver au consommateur aura des difficultés à trouver son marché. Vivacité et fraîcheur, telles sont les clés de la réussite. Une légère sucrosité en bouche peut aider le vin à trouver son public, mais les vins ne doivent pas être trop sucrés car ils peuvent en devenir écœurants et lourds en bouche.

La tendance pour les vins rouges se tourne vraiment vers des produits présentant une astringence réduite et de textures qui sont plus rondes, plus pleines que la plupart des styles de vin traditionnels. Sur le segment le plus vendu, l'élevage en bouteille du vin est chose rare. Les vins doivent être conçus pour une consommation rapide après l'achat. Les tanins doivent être riches et généreux, et non pas durs et amers. Encore une fois, la préférence est à la fraîcheur. Des vins fatigués et dont la couleur a viré au brun, ne trouveront pas acheteur. Sur le marché nord-américain, de nombreux vins rouges à succès contiennent une sucrosité notable en bouche. Cela est en contraste direct avec les styles traditionnels.

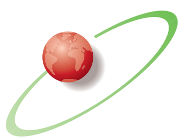
Les ventes de rosé sont en augmentation dans la plupart des pays où la consommation de vin en croissante. Longuement considéré comme un produit à volume de vente bas, le rosé connaît à présent un potentiel réel de développement de ses ventes pour les bons producteurs.

Il va sans dire que les consommateurs préfèrent les vins qui ne présentent pas de caractéristiques négatives : pas de vin bouchonné, pas d'oxydation, pas de Brettanomyces. La constance est un paramètre très important pour que les consommateurs reviennent à votre produit. Produire le style qu'ils recherchent uniquement de temps en temps ne suffit pas.

Est-ce que cela signifie que les consommateurs préfèrent tous le même style de vin et que tous les vins finiront par avoir le même goût ? Je ne le crois pas. Il y a de nombreux groupes de consommateurs, très différents et sur des marchés tout aussi nombreux et tout aussi différents.

Bien que des changements mondiaux dans les préférences de style semblent se produire, il existe une diversité d'opinions suffisante pour permettre à des vins différents d'être acceptés par le marché. Les nouveaux consommateurs préfèrent souvent des styles de vin différents que les consommateurs expérimentés. Cette observation peut sembler soutenir le modèle économique traditionnel de la filière vin, à savoir « produisez d'abord votre vin et trouvez ensuite votre consommateur ». Cependant, trouver le consommateur insaisissable une fois que les investissements ont été faits est une pratique commerciale risquée. Le nouveau modèle économique qui consiste à « d'abord trouver son consommateur et ensuite produire son vin » est à même d'apporter plus de chance de réussite.

Le pouvoir exercé par le consommateur dans les marchés en expansion modifie la façon dont le vin est conditionné et identifié. Les consommateurs recherchent des produits qui ont un bon rapport qualité prix. La préférence des consommateurs continuera d'avoir un impact sur les caractéristiques organoleptiques du vin (arômes, goûts et texture). Comprendre ces préférences et y répondre avec des vins attractifs et bien placés au niveau prix est un défi auquel doivent faire face tous les producteurs de vin et qu'ils doivent remporter s'ils veulent réussir.



Validation d'itinéraire technologique par le consommateur, le chaînon manquant

Sophie PALLAS - Lamothe-Abiet : Z.A. Actipolis Avenue Ferdinand de Lesseps - 33610 CANÉJAN
Jean-Christophe CRACHEREAU - **Jean-Philippe GERVAIS**
Chambre d'Agriculture de la Gironde : 39 rue Michel Montaigne - 33290 BLANQUEFORT
Laurent DULAU - Vinidea : 315 route de Seysses - 31110 TOULOUSE

LA PROBLÉMATIQUE

Le secteur viti-vinicole européen est au cœur d'une révolution liée à l'évolution du marché du vin. Nouvelles attentes des consommateurs, nouveaux types de consommateurs, nouveaux acteurs producteurs, passage d'un marketing de l'offre à un marketing de la demande, nouvelles pratiques œnologiques, amélioration des connaissances.

L'œnologue voit l'approche de sa fonction au sein de l'entreprise évoluer. Il devient une sorte d'intégrateur qui doit être capable de transformer un cahier des charges marketing en itinéraire technologique et ce en tenant compte des différents niveaux de maturités de sa matière première.

Le problème réside dans la définition du cahier des charges marketing. En d'autres termes : quel vin produire pour quel marché ?
De nombreuses études de marché sont à la disposition des professionnels et les grandes tendances sont maintenant bien connues : production de vins fruités, ronds et souples.
Cependant s'il est important de respecter les tendances du marché, il faut éviter d'être trop simpliste et simplificateur au risque d'uniformiser l'offre et donc de niveler le marché par le bas.

Il est important pour le professionnel de considérer que le nouveau consommateur type n'est pas unique dans ses attentes mais que celles-ci sont multiples. Il peut rechercher pour une occasion bien précise un blanc moelleux pour un apéritif (source étude qualitative Alliance des crus bourgeois/Vinidea, 2006) à moins que ce ne soit un blanc sec des Côtes de Gascogne comme le démontre le succès commercial de certains Ugni-blanc/Colombard du Gers. Ce même consommateur pour un repas romantique à deux sera prêt à dépenser plus de 20 € pour une belle bouteille de rouge qu'il choisira dans une AOC à forte notoriété.

Il pourra ainsi casser les codes classiques de consommation du vin ou au contraire en avoir une approche très traditionnelle, même si c'est un nouveau consommateur.
En fait, à la manière des consommateurs anglais, il recherchera un vin différent pour chaque occasion (a wine at any occasion).

Dans l'industrie en général, agro-alimentaire en particulier, lors du développement d'un nouveau produit, des tests consommateurs sont réalisés selon deux axes.

- Des tests dits de validation quantitative permettent sur un panel relativement important, correspondant au marché ciblé, de valider les différents éléments du mix du produit (le produit par lui-même, son futur positionnement, son packaging et éventuellement certains axes de la communication associée). Parmi ces tests il est possible de présenter aux consommateurs ciblés plusieurs versions du futur produit de façon à étudier leur préférence pour telle ou telle version.
- Les tests dits qualitatifs ont pour but d'obtenir un jugement plus complet (qualitatif) du produit sur un panel de consommateur plus restreint, et toujours représentatif de la cible visée.

Le problème de ces approches marketing nécessaires est leur coût de mise en œuvre qui est prohibitif pour la plupart des acteurs de la filière viti-vinicole européenne.
Il est également difficile, considérant la complexité organoleptique du vin d'obtenir une information utilisable en productique à moins de travailler avec des panels experts capables de qualifier un vin avec un vocabulaire compréhensible par les professionnels.

LA SOLUTION PROPOSÉE

L'approche imaginée par Vinidea consiste à présenter à un large panel de consommateurs 2 ou 3 à vins à comparer correspondants à des itinéraires technologiques différents.
Cette comparaison relative basée sur un langage simple : « j'aime, j'aime pas ! » ou encore « je préfère » permet de s'affranchir de l'hétérogénéité du panel.
L'autre originalité de l'approche Vinidea consiste à remettre au consommateur sous forme de cadeau promotionnel un kit de dégustation contenant les 2 ou 3 vins à comparer puis de donner rendez-vous à ces mêmes consommateurs sur une plate-forme interactive de dégustation via internet.
Cette façon de procéder présente l'avantage de placer le consommateur dans les « conditions normales de destruction du produit ».

La plate-forme comporte deux sections

- Dans un premier temps, l'interface sert d'outil pédagogique de façon à donner aux consommateurs les informations de base relatives aux vins à déguster.
  Par exemple, pour la comparaison de deux itinéraires technologiques mettant en œuvre deux types de boisé (chauffe moyenne et intense ou origines différentes des bois), la contribution de ces pratiques œnologiques sera traduite en mots simples et intelligibles de façon à guider le consommateur non connaisseur durant la dégustation.
  Les informations collectées durant cette étape ne seront pas prises en compte pour la validation proprement dite de l'itinéraire.
- Celle-ci se fera dans un second temps, où après avoir dégusté les 2 ou 3 vins, il sera demandé au consommateur d'exprimer sa préférence.
  Cette information sera liée avec un niveau de données marketing subtilement collectées au cours de la session de dégustation. La conjonction de ces deux types de renseignements permettra de conclure sur la préférence de tel ou tel vin par tel ou tel profil de consommateur.

TYPE DE DONNÉES MARKETING COLLECTÉES

L'approche développée par Vinidea repose sur une base mise en place par la société Kelcode consistant à utiliser les code-barres comme clé d'entrée dans des sites internet à but marketing.
L'avantage de cette procédure est de s'appuyer sur le principe d'auto-segmentation, à savoir qu'en plus d'être spécifique du produit le code-barre indique le prix de ce produit.
Grâce à cela les informations suivantes sont compilées dans la base de données créée au cours de l'opération de validation d'itinéraires technologiques :

- prix du produit consommé,
- adresse mail du consommateur,
- âge et code postal,
- habitude de consommation.

Ces informations permettent de qualifier la banque de données et d'avoir ainsi une meilleure appréciation des différents profils des consommateurs ayant participé à l'opération de validation.

OPÉRATION 2 VINS, 2 STYLES

Le but de cette opération consistait à faire valider par un large public de consommateurs deux itinéraires technologiques de vinification d'un vin de Bordeaux provenant de la même vendange issue de parcelles identiques.
Pour cela la plate-forme de validation par dégustation interactive différentielle développée par Vinidea a été utilisée.
Un des itinéraires correspondait à une vinification dite traditionnelle l'autre à un procédé de production plus moderne.

Vinification classique

Courte macération pré-fermentaire, fermentation sans consigne de température (30 °C et plus) avec une souche de levure neutre, application de remontages classiques et extraction progressive des polyphénols en phase alcoolique. Addition de tanins pro-anthocyanidiques.

Vinification moderne

Macération préfermentaire à 15 °C pendant 48 h en présence d'enzyme de macération, fermentation à 28 °C avec souche de levure spécifique à l'objectif produit, pendant le premier tiers de la fermentation application d'un délestage quotidien, addition d'un nouveau type de tanins à densité - 30, mouillage du chapeau à partir de 1020 et application d'une enzyme d'élevage sous marc pendant la durée de la cuvaison soit 5 jours.

Ainsi les différences principales entre les deux itinéraires résident dans :

- le moment d'extraction des polyphénols : phase aqueuse versus phase alcoolique,
- la température de fermentation : < 28 °C versus > 30 °C,
- l'utilisation de levure spécifique versus l'utilisation de levure neutre,
- l'application d'enzymes de macération et d'élevage dans le cas de la vinification moderne,
- l'application d'un nouveau type de tanins en développement versus l'utilisation de tanins pro-anthocyanidiques classiques.

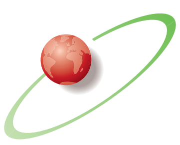
Cette opération, la première du genre, a été rendue possible par la volonté commune de différents acteurs nécessaires pour ce genre d'action :

- Définition des procédés de vinification dit moderne, fourniture des produits, encadrement du projet : Société Lamothe-Abiet.
- Définition de l'itinéraire dit traditionnel, application de ces itinéraires, fourniture matière première et vin fini, analyses des vins et dégustations professionnelles : Chambre d'Agriculture de la Gironde.
- Encadrement promotionnel de l'opération : Maison des Bordeaux et Bordeaux Supérieur.
- Support logistique de distribution : Magasins système U.
- Encadrement et support marketing de l'opération, paramétrage de la plate-forme, analyse des résultats : Vinidea.

Les résultats de cette première expérience de validation d'itinéraire technologique seront présentés en avant-première à l'occasion du Mondiaviti 2006.



Page d'accueil de la plate-forme de validation consommateur par dégustation interactive différentielle.



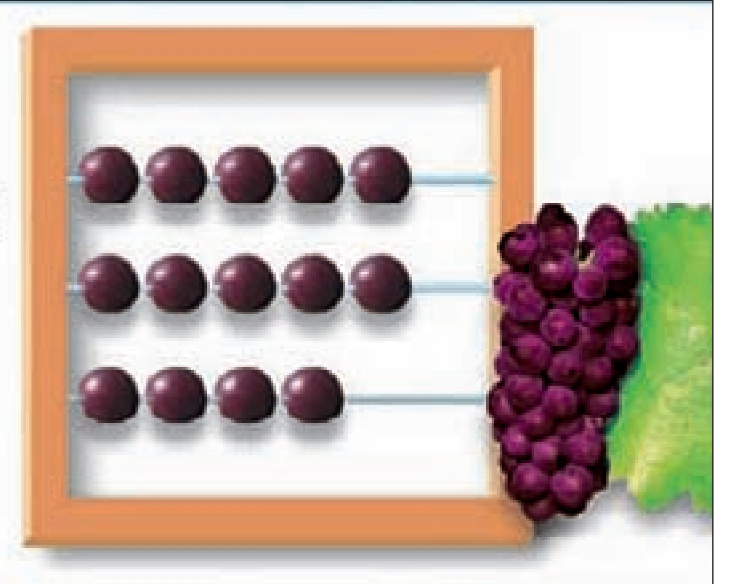
ANTIOÏDIUMS VIGNE

ELIOS

ANTIOÏDIUM

COMPTEZ SUR 14 JOURS

DE PROTECTION ANTIOÏDIUM !



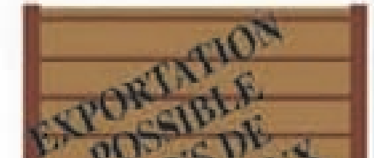
Composition : suspension concentrée contenant 250 g/l de quinoxyfen(1)*
Xi-Irritant. Respecter les précautions d'emploi. A.MM. N° 9800198.
LIRE ATTENTIVEMENT L'ÉTIQUETTE AVANT L'UTILISATION DU PRODUIT.
* Marque Dow AgroSciences.
(1) Matière active brevetée et fabriquée par Dow AgroSciences.

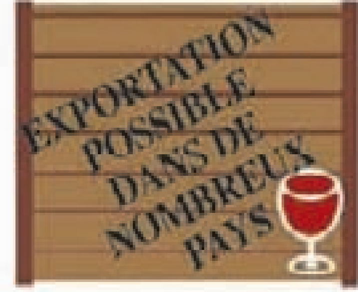
SITE INTERNET : www.dowagro.fr





Composition : suspension concentrée contenant 250 g/l de quinoxyfen(1)*
Xi-Irritant. Respecter les précautions d'emploi. A.MM. N° 9700065.
LIRE ATTENTIVEMENT L'ÉTIQUETTE AVANT L'UTILISATION DU PRODUIT.
* Marque Dow AgroSciences.
(1) Matière active brevetée et fabriquée par Dow AgroSciences.







Dow AgroSciences Distribution S.A. - BP 1220 - 06254 MOUGINS Cedex

PRODUITS POUR LES PROFESSIONNELS : RESPECTER LES CONDITIONS D'EMPLOI

De nouveaux outils pour mieux piloter les itinéraires d'élaboration des vins.

Jean Michel DESSEIGNE - ITV France
Domaine de Donatille - 30230 RODILHAN

La conjoncture actuelle de la filière vitivinicole et la concurrence mondiale imposent plus que jamais de gérer de manière optimale la production, en élaborant des vins adaptés aux attentes des consommateurs.

Les attentes des consommateurs en terme de qualité sont complexes et très variables. Dans une stratégie de production tournée vers la demande, l'enjeu est de produire un vin au style et à la qualité pré-définis par la demande des marchés, en assurant la constance de cette production.

Pour atteindre cet objectif, le contrôle de la qualité est essentiel aux différentes étapes de la transformation, de la vendange au vin conditionné. Il est également nécessaire de maîtriser chaque étape de cette transformation afin d'atteindre le résultat attendu.

Ces impératifs de contrôle et de maîtrise se traduisent par un besoin d'informations rapides, voire en temps réel, fournies par des instruments de mesure, que ce soit pour caractériser les produits (vendange, vin,…), contrôler, réguler ou piloter les différentes opérations unitaires comme le pressurage, les fermentations, les macérations, la micro-oxygénation, la mise en bouteille,… De plus, les concepts de sécurité alimentaire, les démarches d'Assurance Qualité, le développement de cahiers des charges entraînent une traçabilité accrue et favorisent la mise en œuvre de moyens de mesure au niveau des sites de vinification.

Jusqu'à ces dernières années, les capteurs installés dans les caves étaient principalement des capteurs « classiques », mesurant des pressions, des débits, des niveaux, des températures,…, visant à assurer l'automatisation, la maîtrise, la sécurité des équipements. L'avancée des connaissances scientifiques et les innovations en terme d'instrumentation concourent actuellement au développement de nouveaux capteurs de qualité, souvent basés sur des technologies encore peu connues du secteur vinicole.

L'objet de ce document est d'effectuer un rapide état de l'art sur les capteurs de qualité installés en sites de vinification, de leurs potentialités, mais également de leurs limites, à travers quelques exemples d'application.

CARACTÉRISATION DE LA VENDANGE

La qualité d'un vin dépend d'un ensemble de facteurs dont la qualité du raisin est l'élément de base. La caractérisation de son potentiel qualitatif est donc logiquement une des priorités du viticulteur et de l'œnologue désireux produire un vin de qualité, adapté au marché. On souhaite contrôler la maturation, récolter à la date optimale, rémunérer en fonction de la qualité, adapter et planifier les process de vinification en fonction d'un style de vin prédéterminé, voire garantir la traçabilité de la vigne au consommateur.
Outre la détermination de la teneur en sucre par réfractométrie, les premiers instruments de détermination de la qualité sanitaire des raisins ont été proposés dès le début des années 1990. Ils sont basés sur des principes soit polarographiques, soit colorimétriques. Leurs performances respectives sont bien connues (Crachereau, 2001). Mais c'est surtout ces dernières années qu'un saut technologique a été franchi avec l'utilisation des nouvelles technologies de mesures comme la spectroscopie infrarouge et la vision multispectrale.

La spectroscopie infra rouge est déjà très largement développée dans d'autres filières agricoles (viande, céréales, produits laitiers) pour la caractérisation des produits. En œnologie, les premières applications en France sont apparues au début des années 2000, avec des spectromètres à Transformée de Fourrier. La technologie est potentiellement capable de fournir rapidement (quelques secondes) les concentrations des principaux solutés intéressants pour l'œnologue. Elle peut renseigner sur des paramètres jusqu'à ce jour inaccessibles aux caves de production, tels que ceux nécessitant des analyses fines de laboratoires ou de nouveaux indicateurs qualitatifs.

Le principe repose sur une mesure spectrale et un étalonnage préalable. En phase d'étalonnage, les informations contenues dans les spectres sont corrélées à des valeurs du paramètre à prédire. Un modèle prédictif est établi par des méthodes mathématiques et statistiques du type PLS et réseaux de neurones. Ce modèle prédictif permet alors de convertir un spectre en une valeur pour un paramètre donné.

La spectroscopie Moyen Infra Rouge, à Transformée de Fourrier, s'adresse aux longueurs d'onde comprises entre 2 et 25 µm. Cette large bande spectrale permet de caractériser un très grand nombre de constituants (sucres, acidité totale, pH, acides, potassium, anthocyanes,…). Elle pourrait également permettre de répartir la vendange en différentes classes selon l'état sanitaire, voire les risques de présence de contaminants,… Le champ d'investigation de l'IRTF est donc très large. Des améliorations devraient être apportées dans les années à venir pour améliorer la justesse et la fiabilité des mesures réalisées, qui peuvent à ce jour être très variables selon les équipements et les bases de calibration utilisées. Une des limites actuelles est également la sensibilité des appareillages aux conditions de milieu, comme les vibrations, les poussières, les variations thermiques,…

La spectroscopie Proche Infra Rouge reste encore peu utilisée en France malgré de fortes potentialités. En effet, dans cette plage spectrale, la lumière traverse les produits sur des longueurs pouvant atteindre plusieurs centimètres. Il est donc possible de réaliser des mesures directement sur des produits entiers (baies, grappes), en ligne, ou sur des moûts bruts, non filtrés. Le nombre de paramètres mesurables est cependant beaucoup plus faible que dans le cas de l'IRTF. La qualité de réponse des capteurs dépend étroitement de la base de calibration utilisée, de la robustesse des modèles prédictifs, ainsi que des conditions de réalisation des mesures.

La vision numérique (images en couleur dans le visible) ou multispectrale (plusieurs bandes de longueurs d'ondes) présente également de fortes potentialités pour la caractérisation qualitative de la vendange. Un nouveau capteur est en cours de mise au point. Des « photographies » sont prises directement sur les bennes à vendange ou au niveau des conquêts. Le traitement informatique du cliché par des techniques d'analyse d'images permet d'identifier les corps étrangers et les fragments herbacés (rafles, feuilles, pétioles). L'intensité de la couleur des baies est évaluée par analyse colorimétrique de l'image. Ce procédé pourrait permettre de sélectionner les vendanges à leur arrivée à la cave en fonction de critères tels que la propreté, la couleur, les caractéristiques physiques (taille des baies, niveau d'hétérogénéité), et ceci sans aucun contact ni prise d'échantillon. Une des perspectives pourrait être également le développement d'algorithmes d'analyses d'image pour un diagnostic de l'état sanitaire de la vendange, par quantification des baies ou grappes pourries.

La vision numérique peut également avoir des applications à la parcelle. Un capteur optique piéton est en cours d'expérimentation pour l'estimation précoce des rendements parcellaires. Le système expérimental portable permet d'estimer le volume des grappes à partir d'une simple photo numérique. Un logiciel spécifiquement développé détecte la grappe sur l'image et estime son volume à partir d'une simple projection bidimensionnelle.

INFORMATIONS POUR LE PILOTAGE DU PRESSURAGE ET DES FERMENTATIONS

Le **pressurage** est une étape clé de l'élaboration des vins. L'incidence des conditions de pressurage est en effet déterminante sur la qualité des moûts et des vins. Cette opération constitue également un goulot d'étranglement, notamment en cas d'utilisation de pressoirs discontinus, comme les pressoirs à membrane. Le pressurage peut être optimisé par l'asservissement du fonctionnement au débit d'écoulement des jus, à l'aide de débitmètres

électromagnétiques, de capteurs de niveau ou de jauges de contraintes. Cet asservissement autorise des gains en productivité, limite les risques de mauvaises utilisations et permet une première optimisation qualitative, notamment sur le critère turbidité des jus. De véritables systèmes experts ont été mis au point, permettant un pilotage du pressoir prenant en compte les caractéristiques de la vendange, des objectifs qualitatifs et des contraintes de productivité. Au niveau qualitatif, en vinifications en blanc et rosé, les évolutions des polyphénols et du potassium seraient des paramètres intéressant à mesurer pour piloter le pressurage. Leur détermination nécessite cependant une méthodologie rigoureuse et un matériel qui interdit actuellement une mesure sur site, en continu et en milieu trouble. Leur évolution peut cependant être appréhendée grâce au suivi en ligne de la conductivité électrique, les corrélations entre conductivité, polyphénols et potassium au cours du pressurage ayant été démontrées expérimentalement. Cette mesure indirecte permet d'analyser qualitativement le pressurage et donc d'optimiser les programmes de pressurage.

Pour la **maîtrise de la fermentation alcoolique**, la température est un paramètre essentiel, intervenant aussi bien sur la vitesse de fermentation, que sur la viabilité des levures et les profils qualitatifs des vins obtenus. Le contrôle ou la régulation automatique des températures de fermentations par l'intermédiaire de sondes PT100 ou de thermocouples installés sur les cuves est désormais largement développé. Mais la seule connaissance du facteur température reste insuffisante pour prévoir le déroulement d'une fermentation et réaliser un réel pilotage. De nombreuses tentatives ont été faites sur des appareils mesurant l'évolution de la masse volumique à l'aide de capteurs de pression, l'indice réfractométrique, le suivi de la population de levures par bioluminescence ou néphélométrie, le dégagement de gaz carbonique. Quelques installations sont fonctionnelles. Une autre perspective est le développement d'outils permettant de connaître en temps réel l'évolution des composés d'intérêts qualitatifs majeurs lors de la fermentation. Les méthodes spectroscopiques moyen et proche infrarouge pourraient peut-être à l'avenir répondre à ces besoins (Grenier, 2003).

INFORMATIONS POUR LE CONTRÔLE ET LE PILOTAGE DE LA STABILISATION, DES TRAITEMENTS ET DE L'ÉLEVAGE DES VINS

Peu d'outils ont été développés pour contrôler ou piloter en ligne ces étapes importantes : capteurs de conductivité électrique pour le pilotage des opérations de stabilisation tartrique, turbidimètres pour le contrôle des opérations de clarification,… Il existe en effet plusieurs freins au développement de mesures en ligne. Les évolutions à mesurer ont souvent une dynamique lente et peuvent être contrôlées par des déterminations réalisées en laboratoire. Certaines propriétés restent non mesurables, souvent en l'absence de connaissances scientifiques suffisantes (comment mesurer l'évolution de la « rondeur », du « fondu » des tannins,…). Enfin de nombreux capteurs spécifiques, fiables et d'un coût adapté, restent à inventer ou à mettre au point.

Plusieurs facteurs concourent au développement actuel **de la mesure en ligne de l'oxygène dissous :**

- l'avancée des connaissances scientifiques sur le « statut » de l'oxygène dans les vins et de son incidence sur la qualité (Moutounet, 2005),
- le développement d'innovations en terme d'instrumentation : sondes polarographiques portatives et surtout mise au point de nouveaux capteurs d'oxygène dissous reposant sur un principe optique (la luminescence), capteurs compacts, robustes, faciles d'utilisation et ne nécessitant pas d'étalonnage,
- la demande des marchés pour des vins au caractère fruité dominant, à faibles teneurs en sulfites.

La mesure en ligne de l'oxygène dissous revêt un grand intérêt. Elle peut être utilisée comme un outil de diagnostic des installations pour évaluer les points critiques d'enrichissement en oxygène ou valider des itinéraires techniques (transferts, filtration…), comme outil de contrôle en temps réel d'opérations telles que par exemple la mise en bouteille. Enfin , elle peut être utilisée comme outil pour le pilotage de la micro-oxygénation. Cette dernière application, réelle innovation, sera présentée lors du Vinitech 2006.

CONCLUSION

« **Comment élaborer des vins répondant aux attentes des consommateurs ?** » Question fondamentale mais complexe. Pour le producteur, l'enjeu majeur est évidemment d'élaborer des vins ayant les qualités attendues et recherchées par le consommateur. Parallèlement ou plutôt en synergie avec les approches marketing, les solutions sont à rechercher sur le plan technique. Optimiser la qualité, garantir la régularité, produire des vins au style et aux caractéristiques pré-définis imposent notamment un contrôle qualité rigoureux et une maîtrise technique des différentes étapes d'élaboration. L'instrumentation, notamment par des capteurs de qualité, outils d'aide à la décision et de pilotage, constitue une des solutions pour atteindre ces objectifs.

Les capteurs et les systèmes de mesure de la qualité font actuellement l'objet de nombreuses recherches, que ce soit dans le secteur vinicole et plus généralement en industries agroalimentaires. Ces recherches se sont traduites récemment par de nombreuses innovations. La présentation réalisée ci-dessus, qui ne prétend pas à l'exhaustivité, montre les nouvelles potentialités offertes pour la production. Ces nouveaux outils, sources d'informations, constituent également une opportunité pour la recherche et l'expérimentation.

BIBLIOGRAPHIE

Blouin J. (Chambre d'Agriculture de la Gironde), 1991. Intérêts et limites de l'automatisation en œnologie. Actes des « assises nationales de la vinification assistée par ordinateur », ITV France.

Chabas J. (Cemagref), P. Grenier (Cemagref), C. Sinfort (Ensam), J.M. Desseigne (ITV France), 2003.Technologies de précision en cave vinicole. Editions Cemagref.

Crachereau J.Ch. (Chambre d'Agriculture de la Gironde), 2003. Qualité sanitaire de la vendange. Actes du colloque Euroviti 2003, ITV France.

Desseigne J.M. (ITV France), 2006. Nouvelles technologies de mesure et caractérisation de la vendange. Acte des conférences « Lien de la Vigne », mars 2006.

Desseigne J.M. (ITV France), J.L. Favarel (ITV France), Ch Lafon (Le Matériel Péra), 1998. Aide à la conduite des pressoirs à membrane par capteurs qualitatifs . XXIII[e] Congrès mondial de la vigne et du vin de l'OIV.

Desseigne J.M. (ITV France), J.C. Payan (ITV France), M. Crochon (Cemagref), J.F. Ballester (Inra), J. Mazolier (CTIFL), 2003. Spectrométrie proche infrarouge et appréciation de la qualité de la vendange. Actes du colloque Euroviti 2003, ITV France.

Dubernet M (Laboratoire œnologique), 2000. Analyse objective de la qualité des vendanges par spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF) et réseaux de neurones, Revue française d'œnologie, n° 185.

Ducourneau P. (Œnodev), O. Zébic (Sferis), 2006. Pilotage automatique de la micro-oxygénation par mesure de l'oxygène dissous en continu, communication personnelle.

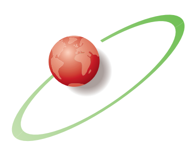
Montounet M. (ENSAM-INRA), J.C. Vidal (Inra), 2005. La mesure de l'oxygène dissous au chai : nouveau critère de l'assurance qualité. Acte du colloque « L'innovation en viticulture/œnologie ». ITV France.

Rousseau J. (ICV), 2003. Utilisation de l'IRTF et du proche infrarouge en réception de vendange. Actes du colloque Euroviti 2003, ITV France.

Roussel S. (Ondalys), Ch. Guizard (Cemagref), J.L. Théraroz (Cave Vignerons de Chusclan), M. Philippe (Sodimel), 2005. Estimation de la qualité de la vendange au chai. Système de la vision. Acte du colloque « L'innovation en viticulture/œnologie ». ITV France.

Serrano E. (ITV France), S. Roussel (Ondalys), 2005. Capteurs aux champs : estimation de rendement par le REV (Rendement Estimé par le Volume). Acte du colloque « L'innovation en viticulture/œnologie ». ITV France.

Trystram G. (ENSIA-INRA), F. Courtois (ENSIA-INRA). 1998. Automatique et industries alimentaires. Quelques avancées, perspectives et limites. Revue IAA 1998.



Conclusion lien au marché

Bruno KESSLER - Président de l'AFED
(Association Française des Embouteilleurs Distributeurs).

LES VINS ET LES MARCHÉS

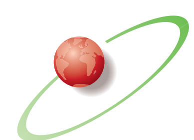
Les vins français bénéficient d'une bonne image et d'atouts majeurs mais ces éléments ne suffisent plus à conserver nos parts de marchés à l'export.
Il est indispensable et nécessaire qu'une partie de nos vins soit mieux adaptée aux goûts des consommateurs du Monde entier.
Chaque pays à certes des besoins particuliers cependant il existe des règles et des bonnes pratiques qui permettraient de valoriser l'ensemble des raisins produits pour limiter la production de vins non adaptés aux besoins des marchés.
C'est dans cet esprit que les chemins de vinifications, de conservation et de conditionnement doivent être mis en place.
Une réelle vision stratégique du gout français doit être définie pour le cœur du marché là ou nous sommes le plus concurrencés.

LE BOIS ET LES BESOINS DU MARCHÉ

La récente autorisation d'utilisation des copeaux de chêne va permettre de mieux adapter une partie des vins français aux grands marchés.
Leur utilisation trop souvent résumée à une simple aromatisation est un facteur clef de la compétitivité de nos vins.

Cette compétitivité s'exprime à de nombreux niveaux :

Au niveau des raisins les copeaux de chêne doivent vraiment être considérés comme des produits œnologiques qui permettent une meilleure expression de la qualité.
Au niveau du gout les copeaux permettent de reproduire des standards qui sont recherchés d'une façon régulière par un grand nombre de consommateurs débutants ou non.
Enfin en termes de réduction des coûts les copeaux permettent de mieux valoriser nos vins et de dégager des marges nécessaires au développement de nos ventes.



Chapitre IV

Évaluation du potentiel aromatique des raisins et des vins

Le potentiel aromatique des raisins, un paramètre multiple

Raymond BAUMES - INRA-UMR-SPO
2, place Viala - 34060 MONTPELLIER CEDEX 1

Le raisin de la plupart des cépages de Vitis vinifera est un fruit aux caractéristiques odorantes peu développées, mais qui contient déjà divers constituants qui donneront plus tard à l'arôme du vin futur des notes caractéristiques relativement spécifiques du cépage. De nombreux travaux ont permis d'avancer dans la connaissance de ce potentiel aromatique variétal. Celui-ci va dépendre du cépage, mais aussi de différents facteurs externes de nature climatique, géo-pédologique, phytosanitaires et techniques.
Les composés constitutifs de l'arôme variétal peuvent se rencontrer sous deux formes : sous forme odorante, l'arôme variétal libre, ou sous forme non odorante, les précurseurs d'arôme variétal.

ARÔME VARIÉTAL LIBRE

Seulement 2 classes de composés odorants permettent de distinguer les variétés de raisins : les composés monoterpéniques et les 2-alkyl-3-méthoxypyrazines (voir les références citées dans : Bayonove C. *et al.*, 1998). La famille des composés monoterpéniques est la plus anciennement connue et a fait l'objet de nombreux travaux. Ces composés, principalement des monoterpénols, se rencontrent dans de nombreuses variétés de *Vitis vinifera*, mais c'est dans les variétés florales, telles que les Muscats, ou quelques cépages alsaciens, comme le Gewürztraminer, qu'ils sont les plus abondants. Ce sont essentiellement le linalol, le nérol et le géraniol qui sont responsables des notes olfactives florales des moûts de ces cépages, qui se retrouvent ensuite dans leurs vins.
Une autre famille de composés odorants a également suscité de nombreuses recherches : les 2-alkyl-3-méthoxypyrazines. La plus odorante, le dérivé isobutyle, a été identifiée pour la première fois dans le Cabernet Sauvignon, mais elle atteint également des teneurs qui peuvent dépasser son seuil de perception olfactive (quelques ng/L) dans le Sauvignon, le Cabernet franc et le Merlot, et elle a été détectée à des teneurs inférieures dans d'autres cépages. Contrairement aux monoterpénols, les notes olfactives végétales qu'elles communiquent aux vins correspondants sont généralement jugées défavorablement. Cependant, leurs teneurs dans les baies de raisin, très sensibles à divers facteurs viticoles et au degré de maturité, permettent une sélection de la vendange minimisant leur contribution.
A l'exception de ces deux familles de constituants, les autres composés volatils de la baie de raisin ne présentent pas un grand intérêt sur le plan olfactif. Ainsi, les constituants odorants des raisins des variétés non florales n'ayant que très peu d'influence sur l'arôme de leurs vins, les notes caractéristiques relativement spécifiques de ces cépages proviennent de certains de leurs précurseurs d'arôme (figure 1).

LES PRÉCURSEURS D'ARÔME DU RAISIN

Au sens large de substances inodores susceptibles de libérer des composés d'arôme, il est logique de classer parmi les précurseurs d'arôme, les substrats principaux de la levure, sucres, lipides, sources d'azote et de soufre, conduisant aux produits volatils secondaires de la fermentation alcoolique et constituant l'arôme fermentaire. Cependant, ces substrats ne distinguent pas les variétés de raisin entre elles, et ne peuvent donc pas être responsables de leurs notes olfactives spécifiques.

ACIDES GRAS INSATURÉS

Il en est de même des lipides à acides gras insaturés, dont les teneurs totales en acides gras insaturés, de l'ordre de 350 mg/Kg de baies, présentent peu de différence intervariétale. Ces composés, dont les teneurs diminuent avec la maturité, sont localisés essentiellement dans la pellicule et la pulpe de la baie (pépins exclus), et sont précurseurs de composés en C6 (Drawert *et al.*, 1966 ; Roufet *et al.*, 1987 ; Ferreira *et al.*, 1995). Ceux-ci, principalement hexanal et 2-hexénal, composés très odorants aux odeurs vertes et herbeuses, sont formés au cours du broyage à l'air des baies, au stade préfermentaire, par des enzymes du raisin (Drawert *et al.*, 1966). Ainsi, le potentiel en ces composés en C6 dépend à la fois des teneurs en lipides précurseurs, mais aussi en activités des enzymes impliqués, et ainsi défini, il a été observé quelques différences entre variétés (Valentin, 1993). Cependant, ces activités enzymatiques dépendent fortement de la maturation de la baie, qui gomment les différences intervariétales. D'autre part, l'hexanal et le 2-hexénal, sont ensuite presque totalement réduits par la levure en hexanol, beaucoup moins odorant que les aldéhydes, et minoritairement en 2- et 3-hexénols, déjà formés dans le moût. Bien que ces derniers soient beaucoup plus odorants que l'hexanol, leurs teneurs habituelles, ainsi que celles de l'hexanol, ne leur permettent pas d'avoir une influence sur l'arôme du vin. Dans les cas contraires, ils sont responsables de flaveurs herbacées, qui dévalorisent l'arôme du vin, et ces défauts aromatiques sont analogues pour toutes les variétés de raisin (Joslin et Ough, 1978).

ACIDES PHÉNOLS CINNAMIQUES

Une autre classe de précurseurs d'arôme présente un cas similaire, les acides phénols cinnamiques, présents dans la baie de raisin presque entièrement sous leur forme d'esters d'acide tartrique en configuration E (Singleton *et al.*, 1978). Surtout localisés dans les parties solides, leurs teneurs diminuent avec la maturation (Ribéreau-Gayon, 1965 ; Romeyer *et al.*, 1983). Contrairement aux lipides, leurs teneurs différencient les cépages, leurs pourcentages ayant même été proposés comme critère taxonomique (Boursiquot *et al.*, 1986). Parmi les 3 plus abondants, l'acide caftarique (< 800 mg/Kg), l'acide coutarique (< 300 mg/Kg) et l'acide fertarique (< 60 mg/Kg), seuls les 2 derniers, sous leur forme acide, sont précurseurs de composés d'arôme, les (vinyl- et éthyl-) phénols et gaïacols respectivement. Les dérivés vinyliques sont formés au stade fermentaire par décarboxylation des acides phénols cinnamiques libres par l'intervention d'une cinnamate décarboxylase de levures *Saccharomyces Cerevisiae* (Albagnac, 1975). Cependant, les teneurs formées dans les vins rouges sont très faibles comparéss à celles des vins blancs et rosés, en raison de l'inhibition de cette enzyme par des tannins catéchiques, alors que les teneurs en précurseurs dans les moûts correspondants sont plus élevées (Chatonnet *et al.*, 1993). De plus, la formation en quantité significative, par rapport à leur seuil de perception olfactive, des dérivés éthyliques, ne peut avoir lieu dans les vins qu'en présence de contamination par des levures du genre *Brettanomyces/Dekkera*, donnant naissance au défaut aromatique de goût phénolé. Ces levures possèdent en effet, non seulement une cinnamate décarboxylase non inhibée par les tannins catéchiques, mais encore une vinylphénol réductase que ne possèdent pas les levures *Saccharomyces Cerevisiae* ou les bactéries lactiques œnologiques (Chatonnet *et al.*, 1992a ; Chatonnet *et al.*, 1992b ; Chatonnet *et al.*, 1995). Ainsi, en l'absence de contamination, seuls les dérivés vinyliques peuvent avoir une influence sur l'arôme, et seulement dans le cas des vins blancs ou rosés. Cependant, le 4-vinylphénol, dérivant de l'acide coumarique, est perçu négativement, même aux concentrations proches de son seuil de perception (Chatonnet *et al.*, 1993). Ce défaut aromatique de goût phénolé est particulièrement marqué à fortes concentrations, dans le cas de l'utilisation en vinification de préparations enzymatiques contenant des estérases, qui augmentent les teneurs des formes acides libres des précurseurs cinnamiques, et de souches de levures *Saccharomyces Cerevisiae* à forte activité cinnamate décarboxylase de ces formes libres (Chatonnet *et al.*, 1992c ; Dugelay *et al.*, 1992 ; Dugelay *et al.*, 1993). Le cas du 4-vinylgaïacol, dérivant de l'acide férulique, apparaît un peu plus complexe. Son odeur n'est pas désagréable (œillet, clou de girofle) et il a été décrit comme composé d'arôme participant à l'arôme variétal de Gewürztraminer du nord de l'Italie (Versini, 1985). Cependant, dans des vins blancs bordelais, la marge entre son seuil de perception olfactive et son seuil limite de préférence est très étroite (Chatonnet *et al.*, 1993). Par ailleurs, étant toujours accompagné du 4-vinylphénol, c'est seulement dans les cépages

pour lesquels le pourcentage entre leurs précurseurs respectifs sera favorable, que leur évaluation olfactive pourra être positive. Cependant, ces dérivés, comme il a été dit ci-dessus, atteignent rarement des teneurs significatives dans le vin, d'autant qu'ils sont dégradés rapidement dans ce milieu, notamment par addition d'éthanol sur le groupe vinyle (Dugelay *et al.*, 1992 ; Dugelay *et al.*, 1993). Ainsi, les phénols volatils sont surtout responsables, dans les cas où leur influence sur l'arôme du vin apparaît, de défauts aromatiques, et ces défauts sont analogues pour toutes les variétés de raisin. Ils occupent donc une place à part dans les précurseurs de l'arôme variétal. Bien entendu, le technologue devra les prendre en compte, mais c'est surtout les phénomènes conduisant à ces défauts qu'il devra éviter. Seuls seront donc pris en compte, et dans l'ordre chronologique de leur découverte comme précurseurs d'arôme variétal du vin, ceux dont l'influence sur l'arôme du vin est, dans la plupart des cas, positive : les glycosides, les caroténoïdes, les S-conjugués à la cystéine et les précurseurs du DMS.

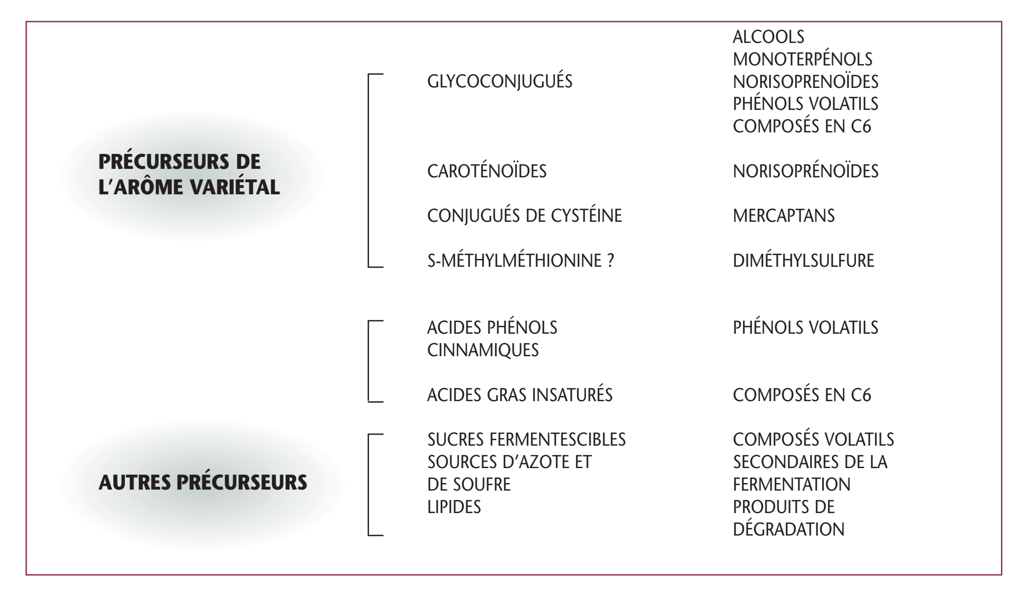


Figure 1 : Précurseurs d'arômes du raisin

LES PRÉCURSEURS DE L'ARÔME VARIÉTAL

Glycoconjugués

Les glycoconjugués ou précurseurs glycosidiques constituent dans le raisin un ensemble très varié de composés inodores, mais susceptibles de former des composés odorants au cours de la séquence biotechnologique du vin (Cordonnier et Bayonove, 1974). Ce sont des glycosides, c.a.d. des molécules constituées d'un sucre (une ou deux unités oses, respectivement mono et diglycoside), lié par une liaison β-glucosidique à un composé volatil appelé aglycone. Le sucre peut être constitué d'une ou deux unités oses (mono et diglycoside), mais l'ose lié à l'aglycone est toujours un glucose, l'ose terminal étant un α-arabinofuranose, un β-rhamnopyranose ou un β-apioérythrofuranose. Quant aux aglycones, présentant nécessairement une fonction alcool, phénol ou acide pour établir la liaison glycosidique, ils sont à l'origine de prés d'une centaine de composés volatils, appartenant aux classes chimiques des alcools non terpéniques, des composés en C6, des phénols volatils, des monoterpénols et des C13-norisoprénoïdes. Dans la baie de raisin, la plupart des phénols volatils et des C13-norisoprénoïdes n'existent que sous ces formes liées, et les monoterpénols ne sont abondants sous forme libre que dans les cépages muscatés et quelques cépages alsaciens. Quant aux alcools non terpéniques et aux composés en C6, la plupart sont formés aux stades préfermentaire et fermentaire à des teneurs très supérieures à celles des formes liées.

La concentration dans le raisin est de l'ordre du mg/L pour les cépages dit neutres (Schneider *et al.*, 2002; Ségurel, 2005), mais peut atteindre plusieurs dizaines de mg/L dans les Muscats pour lesquels la classe des monoterpénols est largement dominante. Pour différents cépages, rouges ou blancs, la répartition dans les différentes parties de la baie est variable et dépend beaucoup de l'aglycone, mais la pellicule en contient la plus grande partie, entre 60 % et 75 % (Wilson *et al.*, 1984 ; Günata *et al.*, 1985a ; Gomez *et al.*, 1994), d'où l'importance des étapes pré-fermentaires et de macération sur l'extraction de ces précurseurs (Mc Mahon *et al.*, 1999).

Les glycosides apparaissent dans la baie au moment de la véraison et s'accumulent au cours du processus de maturation (Williams *et al.,* 1984; Wilson *et al.,* 1986; Marais, 1987; Park *et al.,* 1991). Cependant, en fin de maturation, il n'y a pas de relation simple entre les paramètres classiques de suivi de la maturité du raisin (sucres et acidité totale) et les teneurs en glycosides (Schneider, 2001), d'où l'intérêt de disposer d'une méthode accessible aux laboratoires œnologiques permettant une estimation de ce potentiel (méthode kit enzymatique GG, Iland *et al.*, 1996) ou mieux, de ses composantes (méthode IRTF, Schneider *et al.,* 2005).

La formation de composés odorants à partir de ces glycosides est un processus essentiellement chimique, dont la cinétique dépend de la structure des aglycones, de la température et du pH du vin, et qui se produit le plus souvent très lentement, donc principalement au cours du vieillissement du vin en bouteille (Marais, 1983; Voirin *et al.,* 1990; Winterhalter, 1993; De La Presa-Owens et Noble, 1997). C'est un phénomène complexe, impliquant l'hydrolyse des glycosides et la transformation chimique des aglycones (Francis *et al.,* 1992; Francis *et al.,* 1996; Schneider, 2001; Ségurel, 2005). Ainsi, la première étape libère des composés odorants ou pas, subissant, selon leur stabilité dans les conditions du vieillissement du vin, des transformations structurales au cours de la deuxième étape, pouvant conduire à des modifications de leurs propriétés olfactives, les composés inodores pouvant donner naissance à des composés odorants, et inversement (Voirin, 1990). Ainsi, dans un premier temps du vieillissement du vin, la formation à partir des glycosides de composés volatils et leurs transformations chimiques sont concommitantes. Puis, dans un deuxième temps, lorsque les glycosides correspondants ont été consommés, seules subsistent les transformations chimiques de ces composés volatils, entraînant leur diminution finale. Ce processus conduit à de très nombreux composés volatils, mais seulement une dizaine sont susceptibles d'atteindre dans le vin des cépages non muscatés des teneurs proches ou supérieures à leurs seuils de perception olfactive, les plus connus étant le linalol, le roseoxyde, le 1,8-cinéole, la wine-lactone, l'eugénol, le gaiacol, la zingérone, le salicylate de méthyle, la β-damascénone, le 1,1,6-triméthyl-1,2-dihydronaphtalène (TDN), le (E)-1- (2,3,6-triméthylphényl) buta-1,3-diène (TPB).

Ce schéma réactionnel peut être modifié par l'utilisation au stade fermentaire de préparations enzymatiques glycosidasiques de champignons filamenteux, présentant une bonne stabilité au pH du moût et capables d'hydrolyser beaucoup plus rapidement les glycosides de raisin lorsque les teneurs en glucose du milieu fermentaire sont faibles, c'est-à-dire en fin de fermentation alcoolique et dans le cas de vins secs, car ces glycosidases sont fortement inhibées par le glucose (Günata *et al.*, 1988 ; Günata *et al.*, 1990). L'utilisation de préparations enzymatiques glycosidasiques de certaines levures non *Saccharomyces,* moins sensibles au glucose, a également été proposée (Gueguen *et al.*, 1997 ; Belancic *et al.*, 2003). De plus, l'activité des glucosidases est fortement inhibée par la glucono-δ-lactone, présente en concentrations élevées dans les moûts de raisins contaminés par *Botrytis cinerea* (Heyworth and Walker, 1962). Par ailleurs, il faut bien considérer que l'utilisation de glycosidases exogènes modifie complètement le schéma de genèse de composés volatils à partir des glycosides, puisque seule l'étape d'hydrolyse des glycosides est accélérée.

Quant aux baies de raisin et aux levures *Saccharomyces cerevisiae*, elles possèdent la plupart des glycosidases nécessaires à l'hydrolyse des glycosides de raisin, mais dans des conditions optimales éloignées des conditions des moûts de raisin (Darriet *et al.*, 1988 ; Lecas *et al.*, 1991 ; Delcroix *et al.*, 1994 ; Sarry et Günata, 2004). En effet, l'acidité des moûts et la faible stabilité de ces enzymes en conditions œnologiques, conjuguée à l'inhibition des glucosidases par le glucose des moûts, limitent fortement ces activités enzymatiques au cours du procédé de vinification (Delcroix *et al.*, 1994 ; Günata *et al.*, 1986 ; Günata *et al.*, 1990). Toutefois, une étude récente a montré que certaines souches de levure hydrolysaient partiellement (< 40 %) des glycosides de Muscat lors de la fermentation de moûts modèles (pH=3,2), et jusqu'à près de 70 % pour le glucoside de linalol, pourtant réputé plus difficilement hydrolysable par les glycosidases de champignons filamenteux et de levures Candida (Ugliano *et al.*, 2006). Dans le cas d'une libération d'aglycones au cours de la fermentation alcoolique, la levure pourrait également participer à leur transformation structurale, comme cela est connu pour la transformation du géraniol libre en citronellol (Dugelay *et al.*, 1992).

Enfin, les quelques études effectuées concernant l'influence de la fermentation malo-lactique sur la libération de composés volatils à partir des glycosides de raisin sont récentes et n'ont démontré jusqu'à présent qu'une contribution modeste à cette genèse (Sarry *et al.*, 2004 ; Grimaldi *et al.*, 2005).

CAROTÉNOÏDES

Les caroténoïdes de raisin à maturité possèdent tous les structures bicycliques correspondant aux caroténoïdes associés aux photosystèmes PSI et PSII, complexes multiprotéiniques des membranes des chloroplastes des végétaux (Britton G., 1982 ; Demmig-Adams B. *et al.*, 1996 ; Goodwin T. W., 1980 ; Moneger R., 1968). Le β-carotène et la lutéine sont largement majoritaires, représentant près de 85 % du total, mais d'autres caroténoïdes mineurs les accompagnent, tels que la néoxanthine, la violaxanthine, la lutéine-5,6-époxyde, la zéaxanthine, le néochrome, la flavoxanthine, le lutéoxanthine et d'autres non encore identifiés (Bureau S., 1998 ; Marais J. *et al.*, 1989; Razungles A. *et al.*, 1987; Razungles A. *et al.*, 1996 ; Mendes-Pinto *et al.*, 2004). Le β-carotène est le seul hydrocarbure caroténoïdique (caroténes) de cette liste, tous les autres étant des caroténoïdes oxygénés (xanthophylles). Ainsi, la baie de Syrah à maturité possède une distribution relative en β-carotène, lutéine, violaxanthine et néoxanthine (36 %, 50 %, 2 %, 9 % du total) proche de celle de la feuille (27 %, 51 %, 10 %, 11 %), mais leurs teneurs totales dans la baie à maturité technologique (de 1 à 3 mg/kg) sont plus de 100 fois inférieures à celles des feuilles (Wirth J., 2001). Chez le raisin, les teneurs en caroténoïdes sont dépendantes des facteurs climatiques, des pratiques culturales, des cépages et des différences clônales (Marais J. *et al.*, 1989; Razungles A. *et al.*, 1987 ; Razungles A. *et al.*, 1993). Ils sont surtout localisés dans la pellicule, 2 à 3 fois plus riche que la pulpe, et le jus n'en contient pas, de même que le vin (Razungles *et al.*, 1988), sauf dans le cas de vin rouge muté à l'alcool, comme le Porto, contenant plus de xanthophylles que de carotène (Guedes de Pinho *et al.*, 2001).

Dans la baie de raisin, ils sont considérés comme les précurseurs biogénétiques des glycosides de C_{13}-norisopréņoïdes (Winterhalter, 1993 ; Baumes *et al.*, 2003 ; Mathieu *et al.*, 2005), et sont considérés à ce titre comme faisant partie du potentiel aromatique du raisin. L'éclairement, notamment au stade de croissance herbacée de la baie, influence la genèse des caroténoïdes dans les baies du cépage Syrah (Bureau *et al.*, 1998), qui diminuent ensuite entre la véraison et la maturité, également sous l'influence de l'éclairement. Leur dégradation en C13-norisoprenoides glycosylés fait intervenir dans le raisin une caroténoïde dioxygénase, VvCCD1 (« Vitis vinifera Carotenoide Cleavage Dioxygenase »), clivant les liaisons 9,10 et 9',10' des caroténoïdes en libérant les C_{13}-norisoprénoides carbonylés, produits primaires de clivage, qui peuvent être ensuite transformés par des oxydases et réductases et finalement glycosylés par des glycosyl transférases (Mathieu *et al.*, 2005). La spécificité du clivage enzymatique des caroténoïdes dans le raisin explique ainsi la forte prépondérance des glycosides norisopréņoïdiques à 13 atomes de carbone identifiés dans ce fruit, à des teneurs totales environ 10 fois inférieures à celles des caroténoïdes (Gross, 1984 ; Razungles *et al.*, 1988 ; Baumes *et al.*, 2002).

Cependant, bien que certaines caroténoïdes dioxygénases dégradent le β-carotène en β-ionone dans d'autres plantes, dans le raisin la VvCCD1 ne dégraderait pas le β-carotène (Mathieu *et al.*, 2005), ce qui expliquerait l'absence dans ce fruit de glycosides de C13-norisoprénoïdes monooxygénés, alors que le β-carotène est l'un des caroténoïdes les plus abondants du raisin. Par ailleurs, contrairement à d'autres C13-norisoprénoides odorants du vin, comme la β-damascénone, le 1,1,6-triméthyl-1,2-dihydronaphtalène (TDN), le (E)-1- (2,3,6-triméthylphényl) buta-1,3-diène (TPB), le Riesling acétal ou le vitispirane, aucun précurseur glycosidique de β-ionone n'a été identifié dans le raisin. Ainsi, la β-ionone, composé odorant identifié dans le moût et le vin, ne proviendrait pas de la dégradation de précurseurs glycosidiques, mais d'une dégradation in vitro de β-carotène ; il en serait de même de la 2,2,6-triméthylcyclohexanone et du β-cyclocitral, norisoprénoïdes odorants respectivement à 9 et 10 atomes de carbone (Schneider, 2001 ; Silva Ferreira et Guedes de Pinho *et al.*, 2004). Cette dégradation de caroténoïdes en norisoprénoïdes par des réactions chimique, photochimique ou couplée à des oxydases (lipoxygénase, polyphénoloxydase, xanthine oxydase) était connue bien avant la mise en évidence des caroténoïdes dioxygénases de plantes, comme cela a été rapporté précédemment dans des revues (Winterhalter et Rousseff, 2000 ; Wirth, 2001), mais n'a jamais été clairement démontrée pour le vin. De plus, la formation de certains norisoprénoïdes dans le vin pourrait intervenir par dégradation à la fois de glycosides norisoprénoïdiques et de caroténoïdes correspondants, comme par exemple la β-damascénone dont plusieurs précurseurs glycosidiques sont connus et qui pourrait être également formée par dégradation de la néoxanthine (Silva Ferreira et Guedes de Pinho *et al.*, 2004). Cependant, la genèse in vitro de norisoprénoïdes à partir des caroténoïdes correspondants serait évidemment plus importante pour des vins de macération à forte teneur en alcool contenant des caroténoïdes, comme le vin de Porto (Silva Ferreira et Guedes de Pinho *et al.*, 2004), que pour les autres vins rouges pour lesquels le temps utile pour la dégradation de caroténoïdes (présence des parties solides des baies) est limité.

S-CONJUGUÉS DE LA CYSTÉINE

Les S-conjugués de la L-cystéine ou précurseurs cystéinés, précurseurs inodores de composés à fonction thiol très odorants, ont été mis en évidence et identifiés directement dans le raisin, beaucoup plus tardivement que les 2 classes précédentes de précurseurs (Darriet *et al.,* 1993; Tominaga *et al.,* 1995; Tominaga *et al.,* 1998b). Ce sont des dérivés S-substitués de la L-cystéine, se différenciant donc par la nature du substituant de l'atome de soufre de cet acide aminé, et seulement 3 de ces précurseurs ont été identifiés formellement dans la baie de raisin : la S-(1-hydroxyhex-3-yl)-L-cystéine (P3MH), le S-(4-méthyl-2-oxopent-4-yl)-L-cystéine (P4MMP) et le S-(4-méthyl-2-hydroxypent-4-yl)-L-cystéine (P4MMPOH) (Tominaga *et al.,* 1995; Tominaga *et al.,* 1998b) ; Par ailleurs, une étude ultérieure a permis d'identifier dans le moût de Sauvignon Blanc le S-(1-hydroxyhex-3-yl)-glutathion, un tripeptide S-substitué qui pourrait être un précurseur biogénétique du P3MH et susceptible de libérer le P3MH par l'intervention de carboxypeptidase, éliminant la glycine, et de γ-glutamyltransférase, éliminant l'acide glutamique (Peyrot des Gachons *et al.*, 2002b). Ce composé serait également présent dans le moût de Gros Manseng, alors que les analogues correspondants aux P4MMP et P4MMPOH seraient absents.

Du fait des difficultés analytiques, peu de données quantitatives sur les S-conjugués à la cystéine ont été publiées. Leurs teneurs sont faibles et ne dépassent pas une centaine de µg/L pour le P3MH, le plus abondant, dans le moût de Sauvignon Blanc et de Petit et Gros Manseng, et quelques µg/L pour le P4MMP et le P4MMPOH dans le moût de Sauvignon Blanc, ce dernier étant légèrement plus abondant (Peyrot des Gachons *et al.*, 2000 ; Peyrot des Gachons *et al.*, 2002a ; Peyrot des Gachons *et al.*, 2005 ; Dagan, 2006). Quant à leurs évolutions au cours de la maturation de la baie, elles apparaissent variables selon le précurseur et le millésime (Peyrot des Gachons *et al.*, 2000). Dans la baie de raisin, la P4MMP et le 4MMPOH se répartissent également dans la pellicule et la pulpe, en revanche le P3MH est majoritairement présent dans la pellicule. Ainsi, la macération pelliculaire affecte essentiellement le P3MH, dont les quantités récupérées dans le jus sont plus importantes par rapport à une vinification classique (Murat *et al.,* 2001b ; Peyrot des Gachons *et al.,* 2002a).

Bien que peu abondants et peu nombreux, ces précurseurs apportent cependant une contribution très forte à l'arôme du vin. Ils sont en effet à l'origine de 4 thiols extrêmement odorants, absents du raisin, mais responsables dans le vin de notes olfactives reconnaissables lorsque leurs teneurs sont suffisantes : le 3-sulfanylhexan-1-ol (3MH), l'acétate de 3-sulfanylhexyle (ac3MH), la 4-méthyl-4-sulfanylpentan-2-one (4MMP), et le 4-méthyl-4-sulfanylpentan-2-ol (4MMPOH) présentant des seuils de perception olfactive très bas, respectivement de 0,8 ng/L, 60 ng/L, 4,2 ng/L et 55 ng/L en solution hydroalcoolique (Tominaga *et al.,* 2000). Dans les vins dosés jusqu'à ce jour, le premier thiol, toujours présent quel que soit le cépage, est de loin le plus abondant, avec des teneurs au moins égales à son seuil de perception et pouvant atteindre quelques µg/L, alors que le dernier ne dépasse que très rarement son seuil de perception. Quant aux 2 autres thiols, leurs teneurs dans les vins par rapport à leur seuil de perception sont très variables selon le cépage et selon les échantillons d'un même cépage, et sont, soit supérieures, avec des maxima de l'ordre de quelques centaines de ng/L pour l'ac3MH et de la centaine de ng/L pour la 4MMP, soit inférieures, avec des minima inférieurs aux limites de détection analytique de ces 2 thiols (Darriet *et al.,* 1993 ; Darriet *et al.,* 1995; Güth, 1997a ; Tominaga *et al.,* 2000; Tominaga *et al.,* 1996 ; Güth, 1997a; Bouchilloux *et al.,* 1998 ; Kotseridis et Baumes, 2000; Lopez *et al.,* 2003 ; Murat *et al.,* 2003 ; Schneider *et al.,* 2003; Fretz *et al.,* 2005).

C'est au cours de la fermentation que la levure, par l'intervention d'enzymes de type S-β-lyase, libère les thiols odorants par rupture de la liaison C-S de la partie cystéine des précurseurs cystéinés du raisin (Tominaga *et al.,* 1998b). Les rendements de transformation des précurseurs cystéinés en fin de fermentation par diverses souches de levure *Saccharomyces cerevisiae* sont faibles et variables, quel que soit le précurseur étudié en milieu modèle ou naturel, bien que la plupart des précurseurs initiaux soient dégradés : de 0,06 % à 0,6 % pour la P4MMP (Murat *et al.,* 2001a), et de 0,6 % à 10,2 % pour le P3MH. Quant à l'ac3MH, qui n'a dans le raisin aucun S-conjugué à la cystéine, c'est également la levure qui le forme par acétylation du 3MH, comme elle acétyle les alcools supérieurs provenant de son métabolisme azoté. Ainsi, la formation de ces thiols par la levure est très dépendante de la souche de levure, du moût et des conditions de la fermentation, certaines souches sauvages de *Saccharomyces bayanus* var. Uvarum étant

particulièrement actives ; (Murat *et al.,* 2001a ; Masneuf *et al.,* 2002 ; Howell *et al.,* 2004; Dubourdieu *et al.*, 2006 ; Masneuf-Pomarede *et al.*, 2006). Cependant, il est peu probable que la levure puisse dégrader d'éventuels S-conjugués au glutathion, puisque des études préliminaires avaient montré que la S-β-lyase d'un broyat bactérien d'Eubacterium limosum n'avait pratiquement pas d'activité sur le S-conjugué au glutathion de 4MMP (Tominaga *et al.*, 1995).

Il faut signaler qu'une seconde voie de formation des thiols volatils au cours de la fermentation, ne provenant pas de S-conjugués à la cystéine du raisin, a été démontrée par ajout du [$^2H_8$]-(E)-2-hexénal dans un moût avant la fermentation et la détection de 3MH-d_8 dans le vin obtenu (Schneider, 2001; Schneider *et al.*, 2006). Cependant, les composés soufrés impliqués dans cette transformation de l'(E)-2-hexénal par la levure restent indéterminés. Cette voie de formation a d'ailleurs été démontrée dans les mêmes conditions pour la 4MMP via l'oxyde de mésityle, mais ce composé n'a jamais été identifié dans le vin (Schneider, 2001), contrairement à son hydrate (Escudero *et al.*, 2002), qui pourrait également conduire à la formation de la 4MMP. Des voies analogues pourraient expliquer la formation d'autres thiols odorants du vin, tel que le 3-sulfanyl-3-methylbutan-1-ol, pour lesquels aucun S-conjugué à la cystéine n'a encore été identifié (Tominaga *et al.*, 2000), ainsi que certains thiols trouvés également dans la bière (Vermeulen *et al.*, 2006 ; Bailly *et al.*, 2006).

Quant à l'évolution de ces thiols odorants au cours de la conservation du vin, leurs teneurs diminuent généralement, mais cette diminution apparait très dépendante des phénomènes oxydatifs liés à cette conservation. Ainsi, les facteurs qui préviennent l'altération du potentiel réducteur du vin (contact limité avec l'oxygène, dioxyde de soufre, lies, glutathion, anthocyanes) limitent ces pertes en thiols odorants (Murat *et al.*, 2003 ; Blanchard *et al.*, 2004).

PRÉCURSEURS DU DMS

Ces précurseurs de l'arôme variétal n'ont été mis en évidence dans le raisin que très récemment (Ségurel *et al.*, 2004; Ségurel *et al.*, 2005), alors que le DMS est connu comme constituant odorant du vin depuis longtemps, ainsi que sa formation au cours des différentes étapes du procédé de vinification et de conservation des vins.

Présentant un seuil de perception de 27 µg/L dans le vin rouge (Anocibar-Beloqui *et al.*, 1996), le DMS est un des constituants important de l'arôme de truffe, une note olfactive souvent citée pour le bouquet de réduction des grands vins rouges et des vins de vendange tardive (Du Plessis et Loubster, 1974 ; Spedding et Raut, 1982 ; Anocibar-Beloqui, 1998). Cependant, il serait perçu plutôt négativement dans les vins blancs jeunes (Goniak et Noble, 1987). Au cours de la fermentation, le DMS est libéré sous l'action des levures à partir d'acides aminés soufrés, de dérivés tels la cystine, le glutathion, la S-adénosylméthionine ou de DMSO (Schreier *et al.,* 1974 ; De Mora *et al.,* 1986; Anocibar Beloqui, 1998), mais le DMSO est soit absent, soit présent en très faibles concentrations dans les moûts (Ségurel *et al.,* 2005). Cependant, le DMS produit par les fermentations est en grande partie éliminé du milieu par entraînement par le CO_2, car il est très volatil (point d'ébullition 37 °C/1 atm). Ainsi, ses teneurs dans les vins en fin de fermentation sont généralement très inférieures à son seuil de perception, mais il peut être produit en quantités plus fortes, toujours associé à d'autres composés soufrés légers nauséabonds, dans les vins présentant le défaut d'odeur de réduit (Park *et al.*, 1994).

Cependant, certains travaux ont montré que les teneurs en DMS augmentent avec le temps et la température au cours du vieillissement en bouteille, jusqu'à atteindre des teneurs de l'ordre du mg/L, et que ce DMS serait produit à partir de DMSO (Marais, 1979 ; De Mora *et al.*, 1986; De Mora *et al.*, 1993; Anocibar Beloqui, 1998; Ségurel *et al.*, 2004; Dagan, 2006). Le DMS ainsi produit au vieillissement, serait favorablement perçu dans la genèse du bouquet de réduction des grands vins rouges et des vins de vendange tardive, contrairement à sa perception dans les vins blancs jeunes (voir ci-dessus). Ces données sensorielles sont toutefois assez limitées et devront être complétées pour l'ensemble des cépages de cuve et leurs différents types de vin.

Par ailleurs, une méthode de dosage indirect des précurseurs du DMS dans le vin a été récemment développée, dans laquelle les précurseurs du DMS sont dégradés en DMS par un traitement chimique (Ségurel *et al.*, 2005). Le DMS ainsi libéré correspond au potentiel en DMS (PDMS), car des essais de vieillissement modèle montrent que cette mesure du PDMS est une estimation correcte du DMS susceptible d'être libéré dans le vin au cours du vieillissement

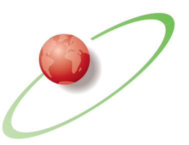
(Ségurel *et al.*, 2005). Par ailleurs, ces travaux ont montré que le raisin possédait également un PDMS, estimé de la même façon, et que, parmi les dérivés méthyl-sulfonium à ce jour connus chez les plantes (Howard et Russell, 1997), seule la SMM pourrait être le précurseur du DMS, et non pas, comme publié dans la littérature, le DMSO (De Mora *et al.*, 1993). Présente dans le raisin, la SMM serait transmise au vin, où elle libérerait du DMS par une réaction de dégradation chimique au cours de sa conservation. La formation du DMS suivrait un processus chimique lent (dégradation d'Hoffmann), dépendant de la durée et des conditions de conservation. Ainsi, les différences de concentrations en DMS pour des vins d'âges équivalents, s'expliquent essentiellement par les différences de PDMS initial à la mise en bouteille.

Les analyses de raisins effectuées à ce jour ont révélé un potentiel en DMS extrêmement hétérogène, et parfois très élevé pour certains échantillons de raisins de Petit et Gros Manseng en surmaturité, jusqu'à 4,5 mg/L (Dagan, 2006), beaucoup plus élevé que les teneurs rencontrées dans le Grenache et la Syrah à maturité technologique. Pour les échantillons de ces 4 cépages, les seuls étudiés à ce jour, le PDMS est dépendant du cépage, du terroir et du millésime, et ses teneurs augmentent très fortement en surmaturité dans le cas des Manseng, les seuls étudiés pour ce paramètre. Cependant, dans certains échantillons de ces 4 cépages, le PDMS des raisins peut être beaucoup plus élevé que dans les vins correspondants, la simple dégradation chimique ne pouvant expliquer ces pertes parfois considérables de transmission de PDMS. Les causes de ces pertes ne sont à ce jour pas connues, mais plusieurs hypothèses pourraient les expliquer. Ainsi, l'intervention dans le moût de SMM-homocystéine S-méthyltransférase ou de S-methyl-L-méthionine hydrolase ou de 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase (ACC synthase), connues dans les métabolismes soufrés et de l'éthylène des plantes pour dégrader la SMM (Kiddle *et al.*, 1999 ; Ko *et al.*, 2004) ou certaines souches de levure et bactéries lactiques au cours des stades fermentaires (Schreier *et al.*, 1976 ; Spinnler *et al.*, 2001), pourraient être responsables de ces pertes de SMM. L'hypothèse de dégradation de la SMM par les levures est très plausible, car une nouvelle perméase, capable de transporter spécifiquement la SMM, et permettant à *Saccharomyces cerevisiae* d'utiliser la SMM comme source de soufre a été identifiée récemment (Rouillon *et al.*, 1999). La levure possède en effet également une SMM-homocystéine S-méthyltransférase transformant ces 2 composés en méthionine (Shapiro *et al.*, 1964), mais le devenir de la SMM chez la levure n'a pas encore été étudié. Quoi qu'il en soit, le DMS formé serait presque totalement éliminé par entraînement par le gaz carbonique au cours de la fermentation alcoolique ou par simple vaporisation tant que le vin n'est pas en milieu clos.

Ces observations ouvrent la voie à un vaste champ d'investigations fondamentales et appliquées, sur l'origine et le devenir du PDMS, du raisin au vin jeune mis en milieu clos, qui permettront de maîtriser ce PDMS, afin soit de favoriser sa présence dans le vin jeune, soit de l'éliminer, selon que son influence sensorielle sera souhaitée ou pas.

CONCLUSION

Le potentiel aromatique du raisin est donc un paramètre multiple à bien des égards : diversité structurale et quantitative inter-classe des précurseurs ; diversité de leurs évolutions et des facteurs impliqués au cours de la maturation de la baie ; diversité de leurs localisations dans la baie ; diversité structurale et quantitative intra-classe pour certains précurseurs mais très limitée pour d'autres; diversité des notes olfactives apportées par les composés odorants libérés ; diversité chronologique de la genèse de ces composés odorants au cours de la filière biotechnologique du vin ; diversité des mécanismes de genèse et d'évolution de ces composés odorants et des facteurs impliqués. Cette complexité explique que la typicité variétale est éminemment variable, et qu'elle s'exprime différemment selon les facteurs viticoles (terroir, millésime, conduite, traitements phytosanitaires,…) et les itinéraires technologiques suivis pour aboutir au type de produit souhaité.



Évaluation rapide du potentiel glycosidique des raisins blancs :

aspects méthodologiques et perspectives

Rémi GUÉRIN-SCHNEIDER
ITV France, détaché à l'INRA-UMR-SPO Equipe Technologie Intégrative
2, place Viala - 34060 MONTPELLIER CEDEX 1
Tél. : 04 99 61 31 11 - Fax : 04 99 61 28 57 - E-mail : remi.schneider@ensam.inra.fr

INTRODUCTION

La composante variétale de l'arôme se compose d'une part, de composés volatils libres, directement odorants et donc perceptibles dans le raisin lui-même, et, d'autre part, de précurseurs d'arômes, qui se révèlent au cours des opérations techniques intervenant depuis la récolte jusqu'au vieillissement des vins (Drawert, 1974).

La plupart des variétés de cuve sont des variétés « non aromatiques », elles sont pauvres en composés volatils libres, mais contiennent, comme les variétés « aromatiques », de nombreux précurseurs. Ces précurseurs sont divers (lipides, acides hydroxycinnamiques, caroténoïdes de la pellicule,…) mais les deux classes de composés les plus étudiées à l'heure actuelle sont constituées, d'une part, des précurseurs cystéïnylés et/ou glutathionés (Tominaga *et al.*, 1998 ; Peyrot des Gachons *et al.*, 2002), qui donnent naissance au cours de la fermentation alcoolique à des thiols fortement odorants, responsables des notes de buis et d'agrumes de nombreux vins et notamment des vins de Sauvignon Blanc, et d'autre part, des précurseurs glycosidiques, qui peuvent générer des composés odorants très variés.

INTÉRÊT DES PRECURSEURS GLYCOSIDIQUES DANS L'ARÔME DES VINS

Les glycosides de composés d'arôme, inodores et non volatils, sont formés d'une partie osidique liée par une liaison ß-glucosidique à un composé volatil, appelé aglycone.

Les glycosides présents dans le raisin et le vin peuvent être hydrolysés par voie enzymatique (Gûnata *et al.*, 1985a, 1988) ou par voie chimique (Williams *et al.*, 1982). Le premier mécanisme est limité dans le moût et les VDN du fait de l'inhibition des ß-glycosidases par le glucose. L'hydrolyse chimique intervient dans le moût et le vin du fait de leur pH acide. Elle se produit au cours de la vinification et du vieillissement du vin et est accélérée par des températures plus élevées (Winterhalter, 1992 ; Kotséridis, 1999). Cependant la vitesse d'hydrolyse de ces composés est lente, sauf dans le cas des glycosides de linalol pour lesquels près de 50 % des teneurs sont hydrolysées après 6 mois (Voirin, 1990).

Ces mécanismes hydrolytiques donnent ainsi naissance à de nombreux composés odorants qui peuvent typer les vins (Bayonove, 1998). Ils constituent donc un réservoir d'arômes, susceptibles d'être révélés soit par action d'enzymes exogènes, soit lors du vieillissement naturel du vin. Au cours du vieillissement, on constate deux phénomènes souvent concomitants : d'une part l'hydrolyse des précurseurs à proprement parler, qui libère d'un côté la partie osidique et de l'autre l'aglycone, et d'autre part, un réarrangement chimique de l'aglycone favorisé par le pH acide des vins. Ce réarrangement chimique génère de nombreux composés odorants à partir des aglycones qui sont, pour la plupart, inodores aux teneurs habituellement rencontrées dans les vins. C'est notamment le cas du TDN, composé caractéristique du bouquet des vieux Riesling, auxquels il donne des notes olfactives rappelant le kérosène.

Des travaux de genèse de composés odorants à partir de glycosides de raisins ont montré cette richesse en composés d'arôme après vieillissement modèle (Francis *et al.*, 1994 ; Ormières *et al.*, 1997 ; Kotséridis, 1999). A titre d'exemple, dans le cas du Melon B., des essais de vieillissement accéléré de glycosides en milieu modèle ont permis de former 14 terpènes et C_{13}-norisoprénoïdes odorants (Schneider, 2001). Parmi ces derniers, la ß-damascénone a été dosée à des teneurs supérieures à son seuil de détection.

Par ailleurs des dosages sur des fractions glycosidiques de raisins ont montré qu'il y avait une très bonne corrélation entre les teneurs en glycosides de C_{13}-norisoprénoïdes des raisins et les teneurs en composés odorants C_{13}-norisoprénoïdiques générés par hydrolyse acide à chaud (figure 1).

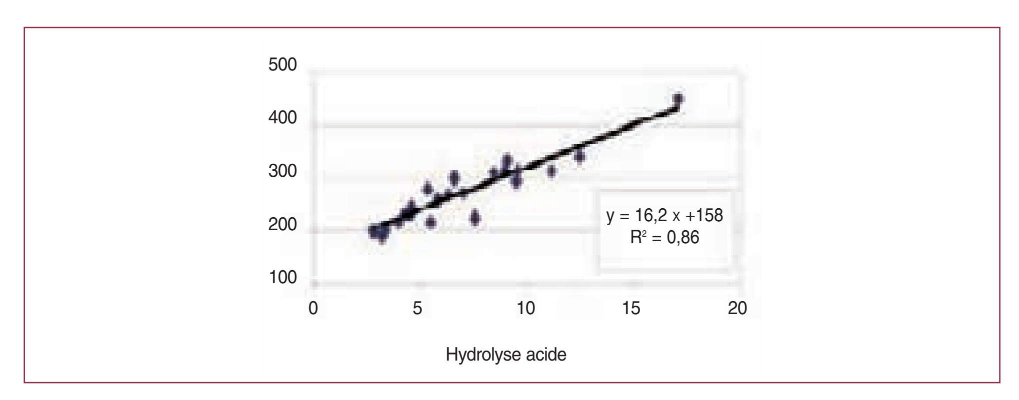


Figure 1 : Corrélation entre les teneurs en glycosides de C_{13}-norisoprénoïdes des raisins et les C_{13}-norisoprénoïdes odorants générés par hydrolyse acide à chaud.

Les teneurs générées par ce type d'hydrolyse étant comparables à celles trouvées dans les vins après 5 à 7 ans de vieillissement en bouteille, l'estimation du potentiel glycosidique des raisins est un outil de choix pour évaluer l'aptitude au vieillissement des vins en terme aromatique.

Le site d'implantation de la vigne, la maturité des raisins et leur environnement lumineux ont une influence significative notamment sur les teneurs en glycosides de C_{13}-norisoprénoïdes et de monoterpènes, et par conséquent, génèrent des différences au niveau de l'expression aromatique des vins (Günata *et al.*, 1985b ; Marais *et al.*, 1992 ; Bureau, 1998 ; Schneider, 2001).

L'analyse de ce potentiel aromatique s'avère donc importante, à la fois pour choisir les techniques culturales et déterminer une date optimale de récolte, mais également pour adapter l'itinéraire technique de vinification afin de valoriser ce potentiel qualitatif.

MÉTHODES D'ESTIMATION DES PRÉCURSEURS GLYCOSIDIQUES DU RAISIN

Méthode « classique »

La méthode d'analyse des précurseurs d'arôme de nature glycosidique la plus couramment utilisée est longue et coûteuse en matériel. Elle nécessite en effet une extraction sélective des glycosides à partir de matrices souvent complexes (moûts, vins). Cette extraction est réalisée par adsorption sur des résines hydrophobes, puis, après des étapes de rinçage avec différents solvants (eau, solvant apolaire), élution par un solvant polaire, de type méthanol (Williams *et al.*, 1982, Günata *et al.*, 1985a ; Di Stefano, 1991).

L'éluat, qui constitue la fraction glycosidique, subit ensuite une étape d'hydrolyse (le plus souvent enzymatique mais parfois chimique) puis les composés volatils générés sont analysés par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse ou à un détecteur à ionisation de flamme (CPG-SM et FID).

Une telle procédure donne certes des résultats précis et détaillés (au niveau du composé, avec un coefficient de variation de 10 à 15 % au maximum), mais il faut compter une dizaine de jours pour analyser 9 à 10 échantillons. Ce délai de réponse, ainsi que les spécificités d'appareillage et les compétences nécessaires à son bon fonctionnement ne permettent pas d'imaginer un transfert direct de la méthode en laboratoire de « terrain » et limitent le nombre d'échantillons analysables dans un temps raisonnable.

Méthodes rapides

Depuis quelques années, des recherches se sont donc orientées vers la mise au point de méthodes rapides d'analyse du potentiel aromatique des raisins. La rapidité des analyses, si elle rend les résultats souvent moins précis (plus globaux), permet en revanche d'envisager leur utilisation à plus grande échelle.

Méthode du Glycosyl-glucose

Cette méthode a été développée et est appliquée par l'Australian Wine Research Institute, d'Adélaïde en Australie (Williams *et al.*, 1995 ; Iland *et al.*, 1996 ; Francis *et al.*, 1998). Elle s'appuie sur la structure des glycosides du raisin, qui comprennent tous une unité glucose et une seule. Leur hydrolyse permet donc de libérer en quantité équimoléculaire le composé d'arôme et le glucose. Ce dernier est dosé dans les hydrolysats, soit par réaction enzymatique, soit par Infra-Rouge à Transformée de Fourier (IRTF). La mesure du glucose donne, par correspondance, la teneur en glycosides totaux.

Sur raisin, la présence de glucosides de polyphénols fausse cependant le résultat, si bien que pour les cépages rouges, il a été proposé de retrancher du G-G total la mesure des anthocyanes glycosylées obtenue en spectroscopie UV-visible. Ceci cependant reste imprécis puisque le résultat final ne représente que 5-10 % du G-G global.

Par ailleurs cette technique ne permet d'estimer qu'un potentiel global, dans lequel sont inclus des glycosides de composés d'arômes qui n'ont pas forcément d'importance dans l'appréciation qualitative du produit final.

Méthode ITV-INRA

ITV-France, dans le cadre d'un partenariat avec l'INRA-UMR-Sciences pour l'œnologie de Montpellier, a développé une démarche quelque peu différente, qui fait l'objet d'une protection juridique.

Nous avons en effet essayé, d'une part, d'analyser directement les extraits glycosidiques sans passer par les étapes d'hydrolyse généralement utilisées et, d'autre part, d'accéder à un niveau de précision et de détail supérieur à celui de la méthode du Glycosyl-Glucose.

La faisabilité de la méthode a été démontrée sur Muscadet (Schneider *et al.*, 2005), et elle est depuis appliquée dans ce vignoble dans une démarche collective de caractérisation de parcelles, projet piloté par le CIVN (Comité Interprofessionnel des Vins de Nantes) et l'IDAC (Institut départemental d'Analyse et Contrôle, Nantes), et depuis peu accessible aux particuliers de cette région.

Une démarche identique a été depuis initiée dans le cas des cépages Chardonnay, Riesling et Gewurztraminer, connus pour leur richesse en glycosides et l'apport aromatique de ces derniers au cours du vieillissement des vins.

Quatre-vingt-dix échantillons de raisins de Chardonnay, issus de Champagne, Bourgogne et Languedoc Roussillon ainsi que 25 échantillons de Riesling et de Gewurztraminer d'Alsace, ont été récoltés sur différentes parcelles des zones de production, à différents stades de maturité et au cours de 2 millésimes consécutifs (2004 et 2005), afin de constituer une banque de données qui soit la plus représentative possible des diverses situations rencontrées.

Les fractions glycosidiques, obtenues après traitement au PVPP des jus issus du broyage des échantillons de raisins et extraction de ces jus sur résine C18, ont été analysées, à la fois par Infra-Rouge à Transformée de Fourier et par la méthode classique (hydrolyse enzymatique puis CPG-SM / FID) qui constitue notre méthode de référence. L'acquisition des spectres IR a été réalisée dans le moyen infra-rouge (nombre d'ondes de 2200 à 1000 cm^{-1}), en transmission, en utilisant une cellule en CaF_2 de 20 µm de trajet optique, régulée à 25 °C par effet Peltier.

Des corrélations statistiques entre les données quantitatives issues de la méthode de référence et les spectres Infrarouge ont été élaborées en utilisant la méthode PLS (Partial Least Squares), méthode statistique particulièrement adaptée à ce type de données. Les modèles de prédiction ainsi construits permettent de déterminer les précurseurs glycosidiques par grande classe chimique d'aglycones. (Tableau 1).

Parmi les classes quantifiées, les monoterpènes et les C^{13}-norisoprénoïdes, sont évalués avec des précisions satisfaisantes à très satisfaisantes. Seuls les monoterpénols glycosylés du chardonnay restent estinés avec une certaine imprécision. Les résultats sont en revanche très satisfaisants pour ces deux classes dans le cas de Gewurztraminer et du Riesling.

	Chardonnay		Gewurztraminer		Riesling	
	Incertitude de prédiction		Incertitude de prédiction		Incertitude de prédiction	
	R^2 (%)	(%)	R^2 (%)	(%)	R^2 (%)	(%)
Alcools	81	23	87	27	78	28
C_{13}-norisoprénoïdes	90	18	91	9	84	12
Phénols	76	26	82	19	88	15
Monoterpènes	87	29	86	15	87	14

Tableau 1 : Paramètres de qualité du modèle prédictif Melon B.

Par ailleurs, si le temps d'extraction reste, pour une telle procédure, un facteur limitant, l'analyse elle-même est très rapide. Le délai de réponse pour 9 à 10 échantillons est ramené, d'une dizaine de jours pour la méthode de référence, à environ 1,5 à 2 jours. Le développement d'une méthode d'extraction automatisée est maintenant envisageable vu le temps très court d'analyse. Si elle ne permettra vraisemblablement pas de gagner beaucoup de temps, elle permettra, en revanche de libérer du personnel au cours de cette étape de l'analyse et, de ce fait, de multiplier le nombre d'échantillons.

Les modèles prédictifs construits permettent de réaliser directement en Infra-Rouge les dosages de précurseurs glycosidiques. Cependant, comme dans toute analyse quantitative en Infra-Rouge basée sur des corrélations statistiques, des points de calibration devront régulièrement être ajoutés au modèle afin qu'il reste le plus juste possible.

Par ailleurs, les modèles ne sont valables que pour des raisins présentant des compositions en glycosides proches (spectres IR des extraits analogues à ceux de la banque de données) ce qui implique une calibration cépage par cépage.

Ces limites levées, l'utilisation de ce type de mesure permettra une caractérisation de la qualité aromatique de la vendange, afin d'adapter l'itinéraire technique de vinification au type de produit recherché. Si le produit recherché doit présenter un potentiel aromatique de garde élevé, en plus du contrôle des autres paramètres de composition (sucre, acidité, pH,…), les données de composition en glycosides permettront de segmenter les apports et, sur les lots les plus riches en précurseurs glycosidiques, de piloter la vinification vers une extraction et une valorisation maximale de ce potentiel glycosidique (macération pelliculaire, enzymage éventuel des vins, élevage prolongé, vieillissement en bouteille).

La mesure du potentiel glycosidique peut également servir en amont à caractériser certains terroirs sur ce paramètre et à mieux adapter les pratiques culturales (effeuillage, gestion du stress hydrique et du rendement). Elle fournit également un paramètre supplémentaire pour une détermination plus fine de la date de récolte optimale.

CONCLUSION

L'évaluation du potentiel aromatique glycosylé est un paramètre qui n'est pas encore disponible sur le terrain, alors que sa connaissance est un outil important pour déterminer la qualité de la vendange et adapter l'itinéraire technique de production afin de valoriser au maximum ce potentiel.

La méthode développée en collaboration par ITV-France et l'INRA fait l'objet d'une protection juridique. Cependant un transfert partiel a d'ores et déjà été réalisé dans le vignoble du Muscadet, afin de vérifier sa faisabilité dans un laboratoire de terrain, de valider les données déjà obtenues et de permettre une extension de la banque de données qui devrait consolider la robustesse des modèles prédictifs.

Le développement de tels modèles sur de nombreux cépages, fournissant une estimation rapide du potentiel aromatique glycosylé du raisin et du vin, utile à la fois au producteur, à l'expérimentateur et au négociant, devrait permettre de pallier un manque en la matière.

BIBLIOGRAPHIE

Bayonove C., 1998. *Œnologie : fondements scientifiques et technologiques*, Flanzy C. (Ed.), Lavoisier Tec&Doc : Paris, 165-181.

Bureau S., 1998. Thèse de l'Université de Montpellier II, 244 pages.

Di Stefano R., 1991. *Bull. OIV*, 721-722, 220-221.

Drawert, 1974. *Chemistry of winemaking*, Webb A.D. (Ed.), American Chemical Society : Washington DC, 1-10.

Francis I., Sefton M., Williams P., 1994. *Am. J. Enol. Vitic.*, 45, 243-251.

Francis L., Armstrong H., Cynkar W., Kwiatkowski M., Iland, P., Williams P., 1998. *The Australian Grapegrower & Winemaker*, Annual Technical Issue 414a, 51-58.

Günata Y., Bayonove C., Baumes R., Cordonnier R., 1985a. *J. Chromatogr.*, 331, 83-90.

Günata Y., Bayonove C., Baumes R., Cordonnier R., 1985b. *J. Sci. Food Agric.*, 36, 139-149.

Günata Y., Bitteur S., Brillouet J.M., Bayonove C., Cordonnier R., 1988. *Carbohydr. Res.*, 198, 139-149.

Iland, P., Cynkar W., Francis I., Williams P., Coombe B., 1996. *Aust. J. Grape Wine Research,* 2(3), 171-178..

Kotséridis Y., 1999. Thèse de l'Université Victor Segalen de Bordeaux. 268 pages.

Ormières J.F., Baumes R., Masson G., Lurton L., Bayonove C. *et al.*, 1997. Actes du XXII[e] Congrès Mondial de la Vin et du Vin, Buenos Aires, OIV (Ed.), 70-75.

Marais J., Van Wyk C., Rapp A., 1992. *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 13, 23-32.

Peyrot des Gachons C., Tominaga T., Dubourdieu D., 2002. *J. Agric. Food Chem.*, 50, 4076-4079.

Schneider R., 2001. Thèse de Doctorat de l'Université Montpellier II, 194 pages.

Schneider R., Charrier F., Moutounet M. et Baumes R., 2005. *Analytica Chimica Acta.* 513, 91-96.

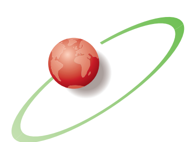
Tominaga T., Peyrot des Gachons C., Duboudieu D., 1998. *J. Agric. Food Chem.*, 46, 5215-5219.

Voirin S., 1990. Thèse de Doctorat de l'Université Montpellier II, 195 pages.

Williams P., Strauss C., Wilson B., 1982. *J. Agric. Food Chem.*, 30, 1211-1223.

Williams P., Cynkar W., Francis I., Gray J., Iland, P., Coombe B., 1995. *J. Agric. Food Chem.*, 43, 121-128.

Winterhalter P., 1992. *Thermal and Enzymatic Conversions of Precursors to Flavor Compounds,* American Chemical Society, Washington DC, 98-115.









Faites confiance au spécialiste de l'épamprage

Rapides, réguliers, efficaces

Profil en ligne avec les exigences actuelles

Sans odeur désagréable

Faible dose : **0,3 l/hl**



PRODUITS POUR LES PROFESSIONNELS : RESPECTER LES CONDITIONS D'EMPLOI

Les thiols variétaux et leurs précurseurs

Intérêt de leur dosage pour interpréter la typologie des vins et guider la vinification

Pr. Denis DUBOURDIEU
Faculté d'œnologie, Université Victor Ségalen Bordeaux 2
Institut des Sciences de la Vigne et du Vin de Bordeaux

RÔLE DES THIOLS VOLATILS DANS L'ARÔME DES VINS

Les œnologues ont longtemps considéré que les composés soufrés volatils possédant une fonction SH, c'est-à-dire les thiols ou mercaptans, rencontrés dans les vins, sont tous nauséabonds. Effectivement, le méthanethiol, l'éthanethiol ou le mercaptoéthanol, responsables des défauts olfactifs de réduction, illustrent bien la réputation « fétide » de cette famille de molécules.

Cependant, on sait aujourd'hui que certains thiols volatils présents dans les vins à l'état de traces participent aux arômes végétaux, fruités, minéraux ou fumés des vins de certains cépages et notamment du sauvignon blanc. Leur dosage permet d'interpréter une part du profil aromatique et de la typicité des vins.

La première molécule découverte comme composant caractéristique de l'arôme des vins de sauvignon (tableau I) est la 4-mercapto-4-méthyl-pentan-2-one (a) (4-MMP) (Darriet *et al.*, 1995). Cette mercaptocétone, qui possède une odeur marquée de buis et de genêt, est extrêmement odorante ; son seuil de perception est de 0,8 ng/l en solution modèle. Son rôle organoleptique est indéniable puisque sa teneur dans les vins de Sauvignon « typés » peut atteindre 40 ng/l.

(a) 4-mercapto-4-méthyl-pentan-2-one

(b) Acétate de mercaptohexyle (c) 4-mercapto- 4-méthylpentan-2-ol (d) 3-mercaptohexan-1-ol

Plusieurs autres thiols volatils odorants, ont ensuite été identifiés dans les vins de Sauvignon : l'acétate de 3-mercaptohexyle (b) (Tominaga *et al.*, 1996), le 4-mercapto-4-méthylpentan-2-ol (c), le 3-mercaptohexan-1-ol (d) (Tominaga *et al.*, 1998a). Ces composés ont pu être dosés grâce à une méthode d'extraction spécifique des thiols volatils (Tominaga *et al.*, 1998b ; Tominaga *et al.*, 2000).

L'acétate de 3-mercaptohexan-1-ol (acétate de 3-MH) possède une odeur complexe de buis, mais aussi de zeste de pamplemousse et de fruit de la passion. Son seuil de perception est de 4 ng/l et certains vins de Sauvignon peuvent en contenir plusieurs centaines de ng/l. L'arôme du 3-mercaptohexanol rappelle aussi celui du pamplemousse et du fruit de la passion dans lesquels il a également été identifié. Son seuil de perception est de l'ordre de 60 ng/l ; il est toujours présent dans les vins de Sauvignon à des teneurs de plusieurs centaines de ng/l, parfois plusieurs µg/l. Le rôle organoleptique du 4-mercapto-4-méthylpentan-2-ol (4-MMPOH), à odeur de zeste d'agrumes, est plus limité. Sa concentration dans les vins dépasse rarement son seuil de perception (55 ng/l) mais cette valeur peut être atteinte dans quelques vins.

Composés identifiés	Descripteurs	Seuils de perception*	Teneurs (ng/l)
4-Mercapto-4-méthyl pentan-2-one	**Buis Genêt**	0,8 ng/l	0-40
Acétate de 3-mercapto hexanol	**Buis** **Fruit de la passion**	4 ng/l	0-1000
3-Mercaptohexanol	**Fruit de la passion** **Zeste de pamplemousse**	60 ng/l	150-plusieurs milliers
4-Mercapto-4-méthyl pentan-2-ol	**Zeste d'agrumes**	55 ng/l	15-150

Tableau 1 : Incidence organoleptique des thiols volatils identifiés dans les vins de Sauvignon

*en solution modèle hydroalcoolique

Des analyses des thiols volatils dans différents vins de Sauvignon du Monde ont été réalisées en collaboration avec l'Université Auckland (Nicolau *et al.*, 2006) pour interpréter le type particulier des Sauvignons néozélandais. Les dosages effectués sur ces vins ont porté sur l'isobutylméthoxypyrazine (IBMP), le 3MH et le 3MHA. Les vins analysés proviennent de trois régions de la Nouvelle-Zélande, ainsi que d'Australie, Afrique du Sud, France, USA .

Certains Sauvignons de la Nouvelle-Zélande, notamment de la région de Marlborough, ont des concentrations en 3MH et 3MHA particulièrement élevées, jusqu'à 12,000 ng/L pour le 3MH et 1,000 ng/L de l'A3MH. Les vins néozélandais de Marlborough et plus encore ceux de Wairarapa ont également des teneurs en IBMP relativement plus élevées que les autres Sauvignons du Monde analysés. Ces particularités analytiques expliquent le profil aromatique typique des Sauvignons blancs néozélandais dont les arômes intenses combinent les notes végétales (poivron vert) imputables à l'isobutylméthoxypyrazine (IBMP) et fruitées (pamplemousse, fruit de la passion) dues à l'abondance du 3MH et de son acétate.

Les thiols volatils identifiés dans les vins de Sauvignon participent aussi à l'arôme des vins de nombreux autres cépages blancs et rouges. En voici quelques exemples.

La 4MMP peut jouer un rôle important dans l'arôme des Muscats d'Alsace, tandis que le 3 MH participe grandement à l'arôme des vins de Gewurztraminer, Pinot Gris et Riesling. (figure 1). Ainsi, l'arôme des vins des variétés alsaciennes n'est pas seulement dû à leur composition en monoterpénols ; les thiols identifiés dans les vins de Sauvignon, interviennent aussi pour renforcer certaines nuances végétales ou fruitées qui s'ajoutent aux registres fleuris des terpénols.

Dans les vins de Colombard, l'A3MH et le 3MH sont présents en quantités supérieures à leurs seuils de perception. Mais la 4MMP, le 4MMPOH et le 3MMB ne sont pas détectables. L'arôme caractéristique du vin jeune, qui ressemble à celui du Sauvignon blanc est très vraisemblablement dû à l'A3MH. L'instabilité de cet ester, dont la majorité est hydrolysée dans les vins quelques mois après l'achèvement de la fermentation alcoolique explique que les vins de Colombard, perdant plus vite que ceux de Sauvignon leur arôme variétal, doivent être consommés très jeunes.
Les vins des cépages Mansengs (Petit et Gros) contiennent du 3MH et de l'A3MH et peu de 4MMP et 4MMPOH. Leur arôme évoque le pamplemousse et le fruit de la passion. Dans les vins liquoreux de vendanges tardives de Petit Manseng, le 3MH peut être très abondant, jusqu'à plusieurs µg/L. La contribution du 3MH à la nuance de pamplemousse de ces vins est donc très claire. L'A3MH peut aussi dépasser son seuil de perception, mais s'hydrolysant dans le temps, on ne le trouve que dans les vins jeunes.
Ces thiols volatils jouent également un rôle important dans l'arôme des vins de Sauternes pourtant constitués majoritairement de Sémillon. Le tableau III rapporte les teneurs en thiols volatils des vins d'un cru classé de Sauternes. Les indices aromatiques de la 4MMP et du 3MH y sont très élevés. A l'évidence, ces thiols et particulièrement le 3MH doivent contribuer à la nuance de pamplemousse de ces grands bordeaux de pourriture noble, même après une conservation de plusieurs années en bouteille.

Le 3MH participe aussi à l'arôme à l'arôme fruité des vins de Petite Arvine, produits dans le Valais Suisse (Fretz *et al.*, 2005).

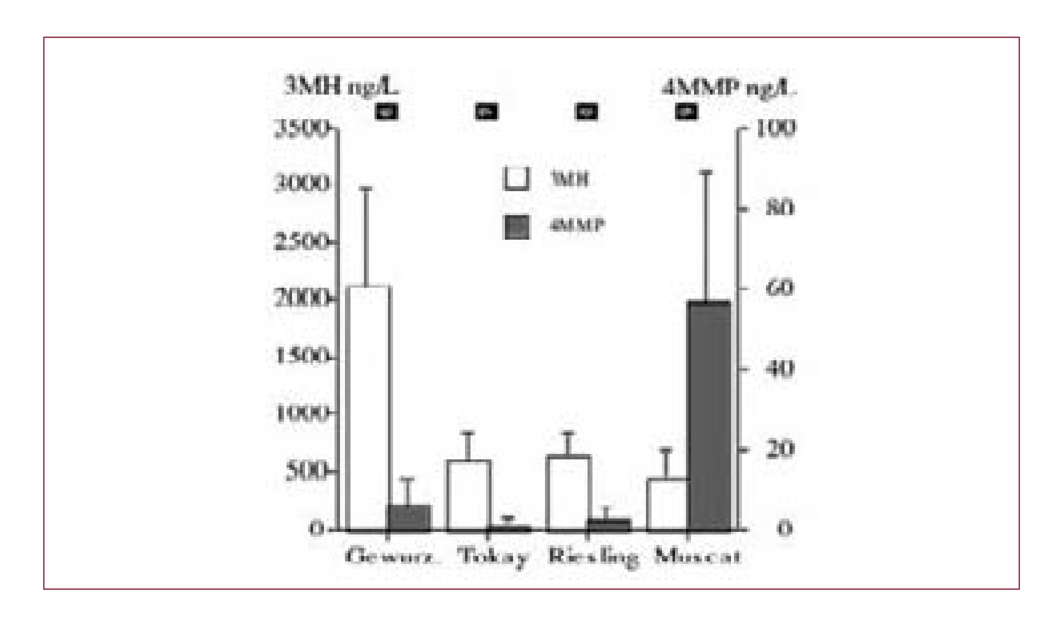


Figure 2 : Dosage des thiols volatils dans les vins de plusieurs cépages alsaciens (Tominaga *et al.*, 2000)

	4MMP (ng/L)	4MMPOH (ng/L)	A3MH (ng/L)	3MH (ng/L)
Colombard				
Plaimont - 98	0	0	21	423
Cave de Panjas - 98	0	0	63	1053
Petit manseng				
Domaine Cauhapé - 96				
Symphonie de Novembre	0	0	101	4468
Noblesse du Temps	0	0	10	828
Domaine Cauhapé - 94				
Noblesse du Temps	0	0	0	3747
Sémillon (pourriture noble)				
Barsac Doisy-Daëne - 95	40	6	0	4048
Barsac Doisy-Daëne - 94	15	13	0	5969
Barsac Doisy-Daëne - 90	8,5	0	0	5040

Tableau 2 : Teneur en thiols volatils des vins de colombard, petit manseng et sémillon de sauternes

D'autres thiols volatils très odorants possédant des odeurs plutôt empyreumatiques participent aussi à l'arôme des vins : le 2-furaneméthanethiol (2FM) (Tominaga *et al.*, 2000), le 2-méthyl-3-furanethiol (2M3F) (Bouchilloux *et al.*, 1998 ; Tominaga et Dubourdieu, 2006), le benzèneméthanethiol (BM) (Tominaga *et al*, 2003a, 2003b), l'éthyl 3-mercaptopropionate. Les caractéristiques olfactives de ces mercaptans et leurs seuils de perception sont données au tableau V.

Le 2-furaneméthanethiol, très odorant, a l'odeur du café torréfié. Sa teneur détermine le caractère toasté des vins élevés en fûts. Il se forme à partir du furfural issu de la chauffe des douelles par combinaison avec l'H2S pendant la fermentation sous l'action de la levure dans le cas des vins blancs élaborés en barrique, au cours de l'élevage en bois neuf dans le cas des vins rouges.

Le 2-furaneméthanethiol est également responsable de l'odeur torréfiée des vieux vins de Champagne, capables de développer un bouquet de réduction.

Le benzèneméthanethiol, aux odeurs fumées et minérales, évoque la pierre à fusil ; très odorant, il participe au caractère minéral fumé des vins. Les vins de Chardonnay possèdent les teneurs les plus élevées.

Composés	Molécules	Descripteurs et Seuils de perception
2-Furaneméthanethiol		Café torréfié 0,4 ng/L
2-Méthyl-3-furanethiol		Grillé, viandé 4,0 ng/L
Benzèneméthanethiol		Minéral, fumé 0,3 ng/L
Ethyl-3-mercaptopropionate		Grillé 200,0 ng/L

Tableau 3 : Thiols volatils à odeurs empyreumatiques identifiés dans les vins de plusieurs cépages blancs et rouges

LES PRÉCURSEURS CYSTÉINYLÉS DES THIOLS VOLATILS

Les précurseurs de la 4MMP, du 4MMPOH et du 3MH sont des S-conjugués à la cystéine : S-4-(4-méthylpentan-2-one)-L-cysteine (P-4MMP), S-4-(4-methylpentan-2-ol)-L-cysteine (P-4MMPOH), S-3-(hexan-1-ol)-L-cysteine (P-3MH) (Tominaga *et al.*, 1998) (figure 5).

Une méthode de dosage de ces composés a été mise au point dans notre laboratoire par Peyrot des Gachons *et al.* (2000). Elle permet de mesurer la teneur des moûts en précurseurs de la 4MMP, du 4MMPOH et du 3MH. Hélas, il s'agit d'une analyse longue et délicate, ne permettant de traiter que quelques échantillons par jour ; elle ne peut donc être utilisée en routine pour des analyses à haut débit. Elle est inenvisageable pour apprécier, dans la pratique, le potentiel aromatique des vendanges. En revanche, elle a permis de préciser la localisation des précurseurs cystéinylés des thiols variétaux dans la baie de raisin. La distribution de ces composés diffère selon le précurseur : 80 % du P-4MMP est dans le jus tandis que 50 % du P-3MH est dans la pellicule du raisin (Peyrot des Gachons *et al.* 2002). La pratique d'une macération pelliculaire sur certains cépages comme le Sauvignon ou les Mansengs apparaît donc parfaitement justifiée ; elle agit essentiellement sur l'accroissement des teneurs des moûts en P-3MH (figure 6).

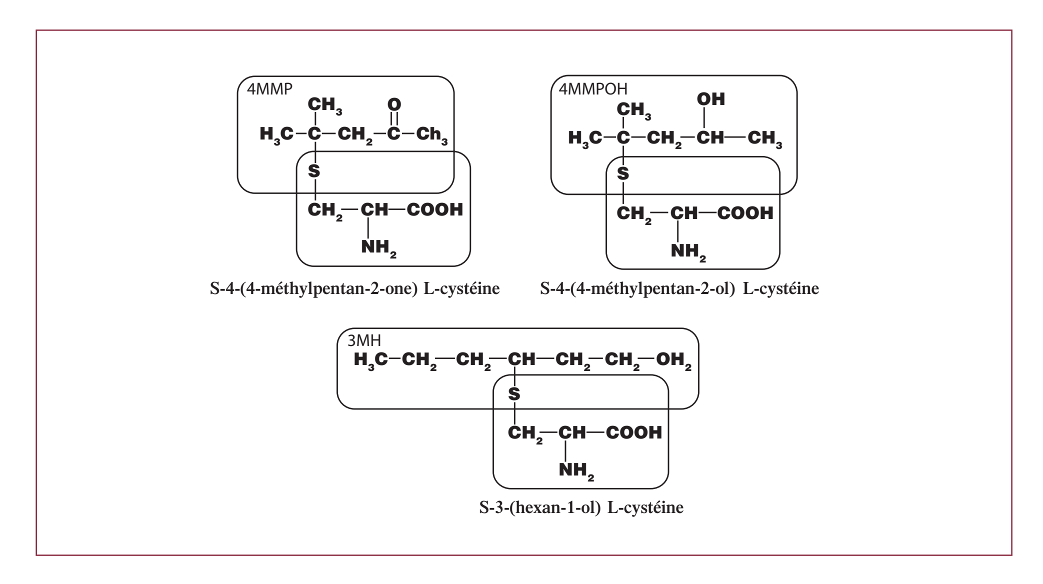


Figure 5 : Structure des S-conjugués à la cystéine, précurseurs des thiols volatils, composés clefs de l'arôme variétal des vins de sauvignon

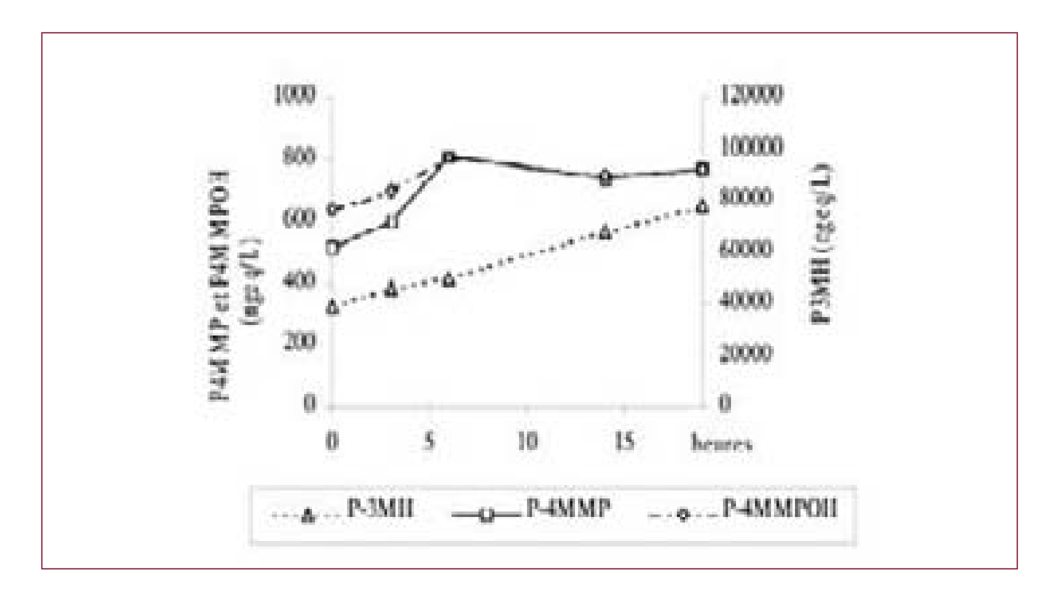


Figure 6 : Évolution de la teneur en précurseurs cystéinylés dans le moût au cours d'une macération pelliculaire à 18 °C.

Il ne faut cependant pas oublier que la macération pelliculaire conduit à une baisse d'acidité des moûts et à un accroissement de leur teneur en polyphénols. Elle n'est donc envisageable que pour les raisins suffisamment acides dont les pellicules peu tanniques sont riches en précurseurs des thiols.

Le dosage des précurseurs cystéinylés des thiols variétaux dans le raisin a aussi permis de montrer qu'une contrainte hydrique modérée favorise un enrichissement des baies de Sauvignon en précurseurs des thiols tandis qu'un stress hydrique important et prolongé diminue leur potentiel aromatique (Peyrot des Gachons *et al.,* 2005). Il a aussi mis en évidence le rôle positif de l'alimentation azotée de la vigne sur le potentiel aromatique des vins de Sauvignon (Choné *et al.*, 2006).

BIBLIOGRAPHIE

Bouchilloux, P. ; Darriet, P. ; Dubourdieu, D. Identification d'un thiol fortement odorant, le 2-méthyl-3-furanthiol, dans les vins. *Vitis*, 1998. 37, 177-180

Choné X. ; Lavigne-Cruège V. ; Tominaga, T. ; Van Leeuwen C. ; Castagnède C. ; Saucier C. ; Dubourdieu D. Effect ofvine nitrogen status on grape aromatic potential : flavor precursors (S-cysteine conjugates), glutathione and phenolic content in *Vitis vinifera* L. cv. Sauvignon blanc grape juice. *J. Int. Sci. Vigne Vin,* 2006, 40, 1-6

Darriet, Ph. ; Tominaga, T. ; Lavigne, Valèrie ; Boidron, J.N. ; Dubourdieu, D. Identification of a powerful aromatic component of *Vitis vinifera* L. var. Sauvignon wines : 4-Mercapto-4-méthylpentan-2-one. *Flavour and Fragrance J.*, 1995, 10, 385-392.

Fretz C.B., Luisier J.L., Tominaga T., Amado R. 3-Mercaptohexanol : an aroma impact compound of Petite Arvine wine. *Am. J. Enol. Vitic.*, 2005, 56, 407-410

Nicolau L., Benkwitz F., Tominaga T. Characterizing the aroma of New Zealand Sauvignon wines. *Australian & Newzealand Grapegrower and Winemaker,* 2006, 509, 46-49

Peyrot des Gachons, C. ; Tominaga, T. ; Dubourdieu, D. Localizaztion in the berry of S-cysteine conjugates, aroma precursors of *Vitis vinifera* L. cv. Sauvignon blanc grapes. The effect of skin contact ont the aromatic potential of the musts. *Am. J. Enol. Vitic.,* 2002, 50, 4076-4079.

Peyrot des Gachons, C. ; Tominaga, T. ; Dubourdieu, D. Measuring the aromatic potential of *Vitis vinifera* L. cv. Sauvignon blanc grapes by assaying S-cysteine conjugates, Precursors of the volatile thiols responsible for their varietal aroma. *J. Agric. Food Chem.* 2000. 48, 3387-3391.

Peyrot des Gachons, C. ; van Leeuwen C. ; Tominaga T. ; Soyer J.P., Gaudillère J.P., Dubourdieu D. Influence of water end nitrogen deficit on fruit ripening and aroma potential of *Vitis vinifera* L. cv. Sauvignon blanc in field conditions *J. Sc. Food. Agric.* 2005, 85, 73-85.

Tominaga T. et Dubourdieu, D. ; 2006. A novel method for quantification of 2-methyl-3-furanthiol and 2-furanmethanethiol in wines made from *Vitis vinifera* grape varieties. *J. Agric. Food Chem.* 54, 29-33.

Tominaga, T. ; Baltenweck-Guyot, R. ; Peyrot des Gachons, C. ; Dubourdieu, D. Contribution of volatile thiols to the aromas of white wines made from several *Vitis vinifera grape* varieties. *Am. J. Enol. Vitic.* 2000, 51, 178-181.

Tominaga, T. ; Furrer, A. ; Henry, R. ; Dubourdieu, D. Identification of new volatile thiols in the aroma of *Vitis vinifera* L. var. Sauvignon blanc wines. *Flavour and Fragr. J.*, 1998a, 13, 159-162.

Tominaga, T. ; Guimbertau, G. ; Dubourdieu, D. Contribution of Benzenemethanethiol to smoky aroma of certain *Vitis vinifera* L. wines. *J. Agric. Food Chem.* 2003b, 51, 1373-1376.

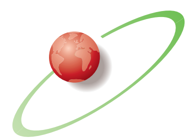
Tominaga, T. ; Guimbertau, G. ; Dubourdieu, D. Role of certain volatile thiols in the bouquet of aged champagne wines. *J. Agric. Food Chem.*, 2003a, 51, 1016—1020.

Tominaga, T. ; Murat, M. L. ; Dubourdieu, D. Development of a method for analyzing the volatile thiols involved in the characteristic aroma of wines made from *Vitis vinifera* L. Cv. Sauvignon blanc. *J. Agric. Food Chem.*, 1998b, 46, 1044-1048.

Tominaga, T. ; Blanchard, L. ; Darriet, Ph. ; Dubourdieu, D. A powerful aromatic volatile thiol, 2-furanmethanethiol, exhibiting roast coffee aroma in wines made from several *Vitis vinifera* grape varieties. *J. Agric. Food Chem.*, 2000, 46,1799-1802.

Tominaga, T. ; Darriet, P. ; Dubourdieu, D. Identification de l'acétate de 3-mercaptohexanol, composé à forte odeur de buis, intervenant dans l'arôme des vins de Sauvignon. *Vitis,* 1996, 35, 207-210.

Tominaga, T. ; Peyrot des Gachons, C. ; Dubourdieu, D. A new type of flavor precursors in V*itis vinifera* L. cv. Sauvignon blanc : S-cysteine conjugates. *J. Agric. Food Chem.* 1998c 46, 5215-5219.



Gestion des différents potentiels aromatiques dans une optique de segmentation de produits.

Cas des vins de Manseng en Côtes de Gascogne.

Laurent DAGAN
ITV France, détaché à l'INRA-UMR-SPO Equipe Technologie intégrative
2, place Viala - 34060 MONTPELLIER CEDEX 1
Tél. : 0499612508 - Fax : 0499612857 - E-mail :dagan@ensam.inra.fr

Avant propos

Ces résultats s'intègrent dans un travail de thèse sur l'étude du potentiel aromatique du Petit et du Gros Manseng (2003 à 2005), mené en collaboration avec ITV France, l'UMR SPO de l'INRA de Montpellier, le Syndicat des producteurs de vins de pays des Côtes de Gascogne et l'ENSA de Montpellier.

INTRODUCTION

La composante aromatique est un élément fondamental de la qualité du vin et sa maîtrise reste un enjeu, d'une part pour la production de vins de qualité et d'autre part pour la fabrication de produits répondant à des critères définis. Depuis les premiers travaux sur l'arôme du vin, plus de mille composés volatils ont été identifiés parmi lesquels quelques dizaines seulement sont susceptibles de contribuer directement à l'arôme du vin. Par ailleurs, pour certains cépages la découverte de composés clefs de l'arôme a stimulé les recherches sur leur propriété sensorielle et sur leur origine. Pour certains d'entre eux, la mise en évidence de leur filiation avec des composés inodores présents dans le raisin a élargi le champ d'investigation de l'étude de l'arôme du vin. Aujourd'hui, la prise en compte du potentiel aromatique devient une nécessité pour définir et travailler à la maîtrise de la qualité aromatique du vin.

L'objectif de cette présentation est d'étudier trois familles de précurseurs à l'origine de composés d'arôme dont l'intérêt pour les vins de différents cépages a largement été démontré : les précurseurs glycosidiques, les précurseurs cystéinylés et le potentiel en sulfure de diméthyle, afin d'essayer de comprendre dans quelle mesure ce potentiel global peut être géré par le choix d'itinéraires viticoles et technologiques. Employés pour différents types de vinification, en sec et en moelleux, le Petit Manseng et le Gros Manseng constituent des modèles adaptés à l'étude de l'évolution de ces trois potentiels en fonction de différents paramètres culturaux, et à l'étude des relations entre le potentiel du raisin et les composés d'arôme du vin.

LE POTENTIEL AROMATIQUE DU PETIT ET DU GROS MANSENG

Variation et transmission du potentiel glycosidique

Les précurseurs glycosidiques constituent un ensemble très varié de composés inodores identifiés initialement dans le raisin (Cordonnier et Bayonove, 1974). La majeure partie de ces précurseurs est retrouvée dans le vin et c'est essentiellement au cours du vieillissement du vin en bouteille, selon un processus chimique lent, qu'ils vont générer plusieurs dizaines de composés volatils susceptibles de contribuer à l'arôme du vin (Francis *et al.*, 1992; Francis *et al.*, 1996 ; Kotseridis, 1999 ; Schneider, 2001 ; Ségurel, 2005).

Comme c'est le cas pour la plupart des cépages neutres, les deux classes chimiques les plus abondantes sont les C_{13}-norisoprénoïdes et les monoterpénols, représentant plus de 80 % de ce potentiel. Si le potentiel total est quantitativement équivalent pour le Petit et le Gros Manseng, la répartition de ces deux classes permet de les différencier. Le millésime est la principale source de variation suivie du site de plantation. Enfin, même si la maturation n'entraîne pas de grandes variations, à l'échelle de la parcelle le choix de la date de récolte permet d'optimiser ce potentiel.

Variations et révélation du précurseur du 3-mercaptohexan-1-ol (P3MH)

L'intérêt des thiols variétaux n'est plus à démontrer tant ils contribuent qualitativement à l'arôme des vins de nombreux cépages (Tominaga *et al.*, 1996 ; Güth, 1997 ; Tominaga *et al.*, 1998 ; Tominaga *et al.*, 2000 ; Lopez *et al.*, 2003 ; Schneider *et al.*, 2003 ; Fretz *et al.*, 2005). Les premiers travaux ont montré qu'ils existent dans la baie de raisin sous la forme de S-conjugués à la cystéine transformés en thiols par la levure au cours de la fermentation (Tominaga *et al.*, 1998).

La mesure du précurseur cystéinylé du 3-mercaptohexan-1-ol (P3MH) dans les jus de raisins montre que ces teneurs varient considérablement et de façon aléatoire au cours de la maturation du raisin. Hormis les différences variétales entre les 2 cépages en faveur du Petit Manseng, aucun des paramètres étudiés (millésimes, maturité et site) n'apporte une variabilité significative sur ce potentiel.

Dans les vins de Manseng, les teneurs en thiols toujours supérieures aux seuils de perception montrent leur intérêt pour ces vins. Cependant nos résultats ne permettent pas d'établir de relation entre le P3MH du raisin et les teneurs en thiols correspondants (3MH et ac3MH) dans les vins (Figure 1). Il est connu que la libération de thiols à partir de S-conjugués à la cystéine est variable selon la souche de levure et les conditions de fermentation (pH, concentration en substrat, température ; Murat *et al.*, 2001 ; Huyng-Ba *et al.*, 2003)). Dans nos conditions, les rendements de transformation sont faibles (4 % en moyenne) et leur variabilité n'est associée à aucun des paramètres étudiés.

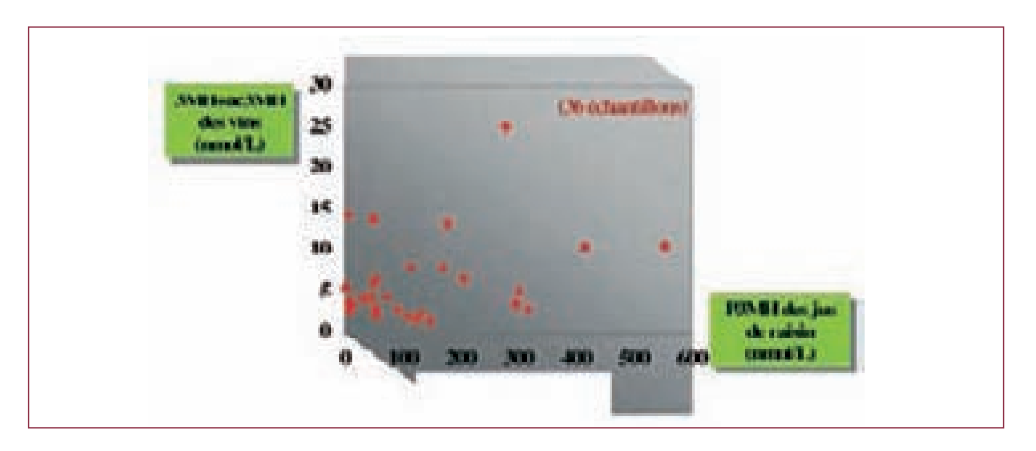


Figure 1 : Relation entre les teneurs en ac3MH et 3MH des vins en fonction des teneurs en P3MH des raisins correspondant.

Le sulfure de diméthyle libre (DMS) et potentiel (PDMS)

Avec un seuil de perception compris entre de 25 µg/L et 160 µg/L dans les vins, le DMS peut pleinement participer à l'arôme des vins, puisque les teneurs varient autour de quelques dizaines de µg/L à plus de 900 µg/L (De Mora *et al.*, 1987 ; Anocibar Beloqui *et al.*, 1996 ; Ségurel *et al.*, 2004). Toutefois, sa contribution sensorielle apparaît très complexe car elle dépend de sa concentration et de la matrice. Généralement perçu positivement avec des odeurs de truffe, de foin, d'olive verte, de fruits rouges…, il peut être dans certains cas être considéré comme un défaut.

Le DMS se forme au cours de différentes étapes du procédé de vinification et de conservation des vins. Au cours de la fermentation, le DMS est libéré sous l'action des levures à partir d'acides aminés ou de dérivés d'acides aminés (Schreier *et al.*, 1974 ; De Mora *et al.*, 1986), mais il est éliminé du fait de sa très grande volatilité. Ce n'est que récemment qu'une nouvelle voie de formation du DMS au cours du vieillissement du vin a été démontrée. Bien qu'encore non identifiée dans le vin, la SMM déjà présente dans le raisin serait le précurseur le plus probable pouvant générer du DMS selon une dégradation chimique lente pendant la conservation en bouteille (Ségurel *et al.*, 2005).

La mesure des précurseurs du DMS est définie sous le terme PDMS (Potentiel en DMS). L'intérêt de cette mesure est de permettre une estimation correcte de la quantité de DMS susceptible d'être libérée dans le vin au cours du vieillissement (Ségurel *et al.,* 2005). Le DMS est en premier lieu un arôme de vieillissement et il existe une relation étroite entre le pourcentage de DMS libéré (rapport du DMS libre /(DMS libre + PDMS) et l'âge du vin (Figure 2).

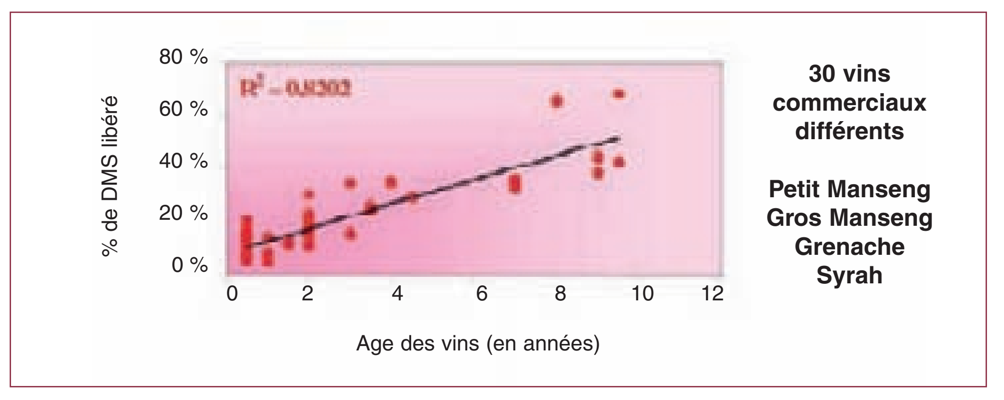


Figure 2 : Corrélation entre le pourcentage de DMS libéré et l'âge d'un vin.

Pour un vin donné et quelque soit le cépage, la teneur en DMS va augmenter de façon constante avec l'âge du vin, ainsi la mesure du PDMS permet d'estimer la teneur en DMS d'un vin dans les prochaines années. Cela permet d'envisager le contrôle de la concentration du DMS dans le vin et donc sa contribution à l'arôme. Auparavant, étant donné la contribution variable du DMS, son influence doit être étudiée pour chaque type de vin afin de déterminer le couple concentration/note odorante.

Par ailleurs l'intérêt du DMS ne se limite pas forcément aux vins de gardes. Ces derniers présentent certes les teneurs les plus élevées, mais des concentrations dépassant les seuils de perceptions sont rencontrées après quelques années de conservation seulement (Figure 3). La contribution du DMS est donc envisageable pour différents types de vins. A forte concentration, il contribue au bouquet des vins de gardes avec des odeurs de truffe perceptibles dans des vieux vins doux. A des concentrations plus proches de son seuil de perception, il pourrait être impliqué dans des mécanismes de synergie avec d'autres composés comme cela a été décrit sur des vins de Grenache et de Syrah, dans lesquels il renforce les notes de fruits rouges (Ségurel *et al.*, 2004).

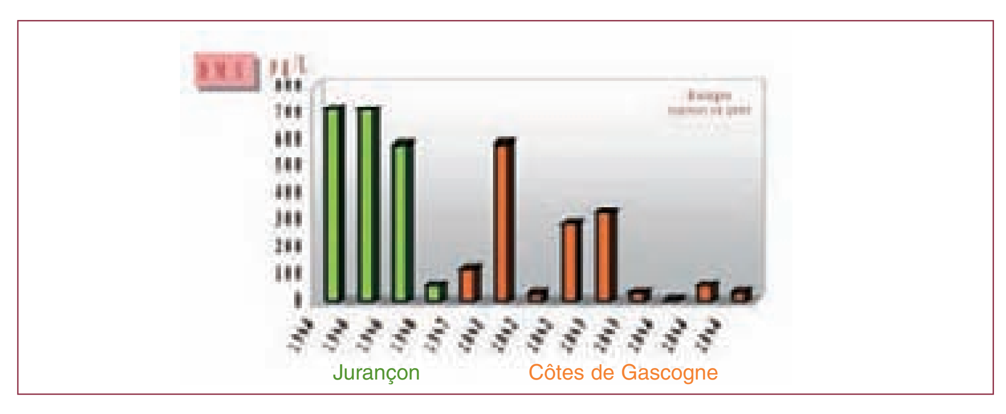


Figure 3 : Teneurs en DMS libre de vins de différents millésimes des appellations Côtes de Gascogne et Jurançon.

Variation et transmission du potentiel en sulfure de diméthyle (PDMS)

La libération du DMS dans le vin est très probablement liée aux conditions de conservation et particulièrement à la température, toutefois la marge de manœuvre en la matière est restreinte. Ainsi, la maîtrise du DMS dans le vin implique une prise en compte globale de ce potentiel.

Les variations du potentiel en sulfure de diméthyle sont considérables. La maturité apparaît comme le paramètre essentiel puisqu'entre la 1re et la 3e date de récolte (3 semaines séparent 2 dates de récolte), le PDMS est multiplié d'un facteur 3 à 15 (Figure 4). Cette augmentation

est systématique sur toutes les parcelles étudiées pour les millésimes 2003 et 2004. Cependant, l'origine de l'accumulation de ce potentiel reste inconnue. Sur un même site, le PDMS du Petit Manseng est toujours plus élevé que celui du Gros Manseng, ce qui renforce la différence variétale (Figure 4). Enfin la variabilité apportée par les paramètres site et millésime est moindre mais toujours significative (Figure 4).

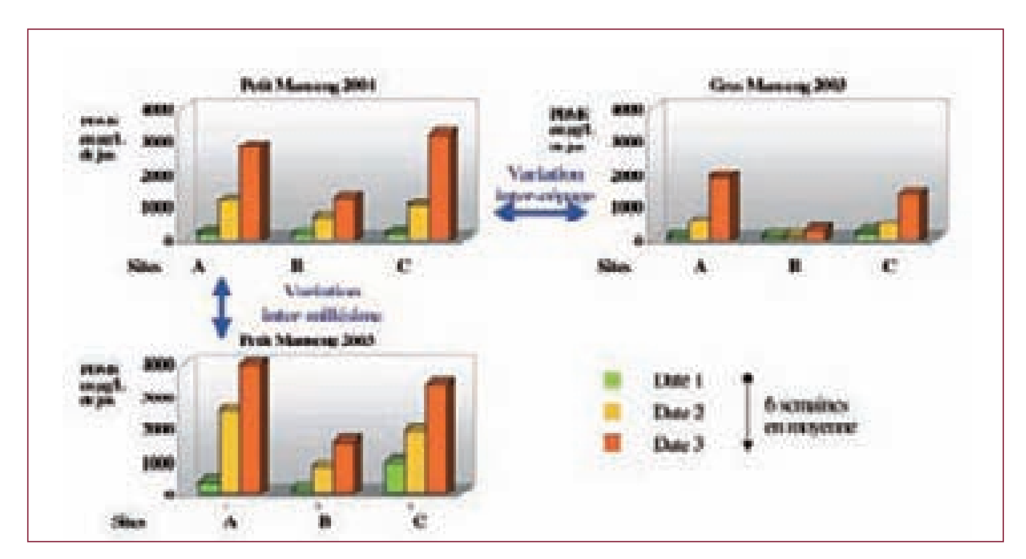


Figure 4 : Variation du PDMS des jus de raisins en fonction du cépage, de la maturité, du site et du millésime.

Le dosage du PDMS dans les vins correspondants montre que la transmission du PDMS du raisin au vin est faible et particulièrement variable. Ainsi, dans le cadre de nos essais, un PDMS élevé dans le raisin ne garantit pas un PDMS élevé dans le vin. Il n'y a donc pas de corrélation directe entre le PDMS du raisin et celui du vin correspondant (Figure 5).

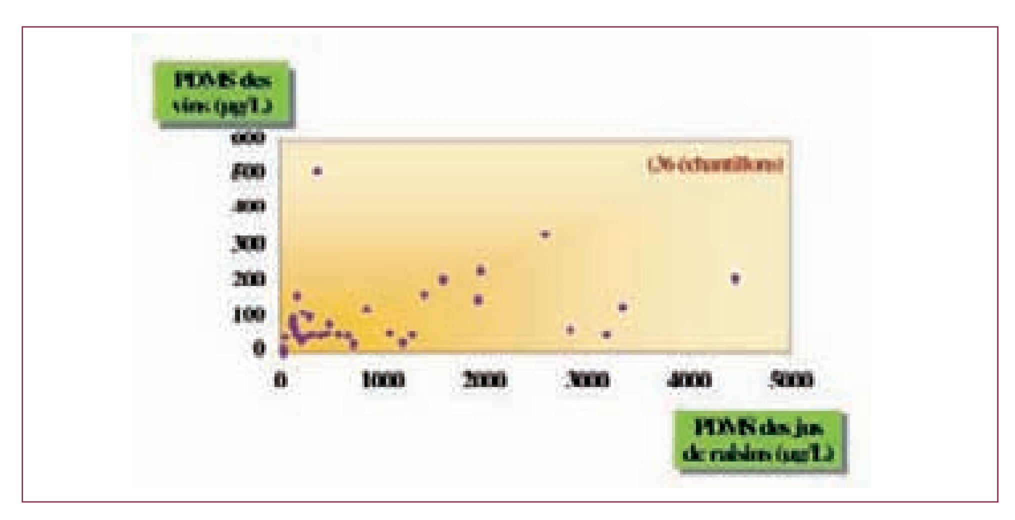


Figure 5 : Relation entre le PDMS des jus de raisins et celui des vins correspondant.

LE POTENTIEL AROMATIQUE GLOBAL

L'influence variable du millésime, de la maturité et du site de plantation sur ces trois potentiels montre une certaine indépendance de ces variables entre elles. Cette observation est confirmée lorsque l'on représente pour une même parcelle l'évolution des 3 potentiels au cours de la maturité. Comme dans l'exemple présenté (Figure 6), l'ensemble des résultats révèle systématiquement des évolutions complètement indépendantes des 3 potentiels et permet d'apprécier également les différences d'amplitudes de variation de chacun d'eux. Ainsi, bien qu'elle soit le plus souvent significative, la variation des glycosides au cours de la maturation du raisin est beaucoup moins importante que celle du P3MH et du PDMS. De plus, cet exemple montre que les paramètres classiques de suivi de la maturité sont peu adaptés à la détermination d'une date de récolte optimale pour chacun des trois potentiels aromatiques.

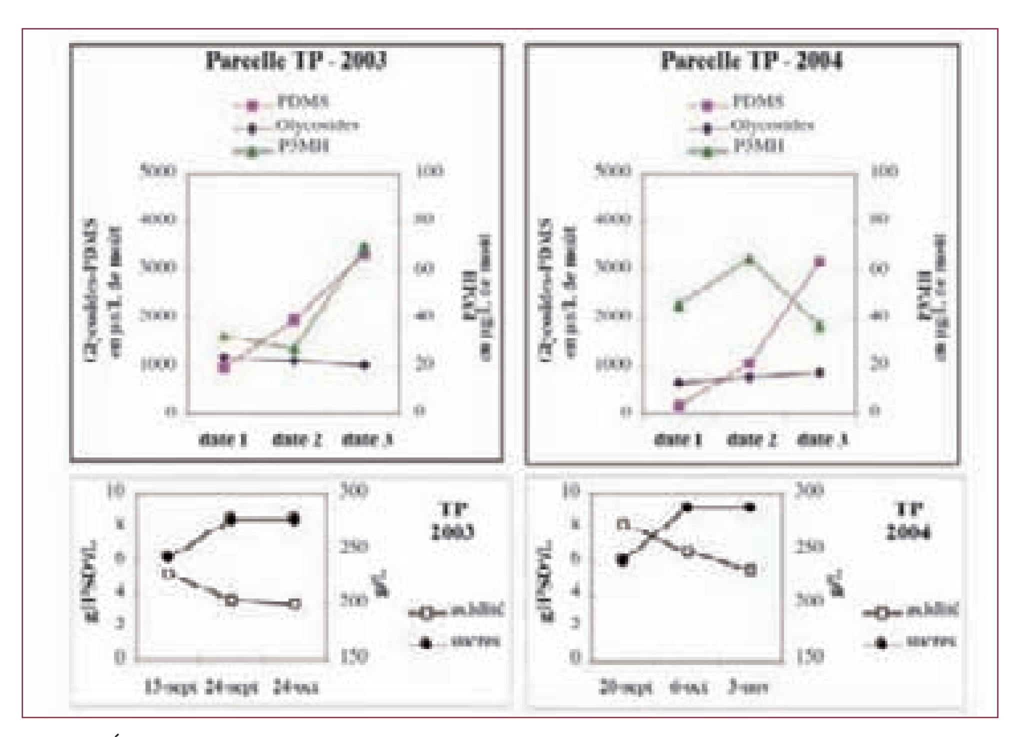


Figure 6 : Évolution des trois potentiels au cours de la maturation du raisin de la parcelle TP de Petit Manseng (Millésimes 2003 et 2004).

Ainsi, deux approches sont envisageables pour gérer le potentiel aromatique. La première qui consiste à rechercher un compromis entre les différents potentiels apparaît difficilement gérable. Au vu de l'origine des composés d'arôme présenté dans le schéma suivant (Figure 7), il apparaît plus judicieux de travailler ce potentiel dans une optique de segmentation produit en adaptant les opérations culturales et technologiques en fonction du type de vin et du profil aromatique que l'on souhaite obtenir. Ainsi, on privilégiera une ou deux composantes variétales de l'arôme. Même si nous ne disposons pas de toutes les connaissances nécessaires à cela, certains résultats permettent déjà de définir certains itinéraires techniques.

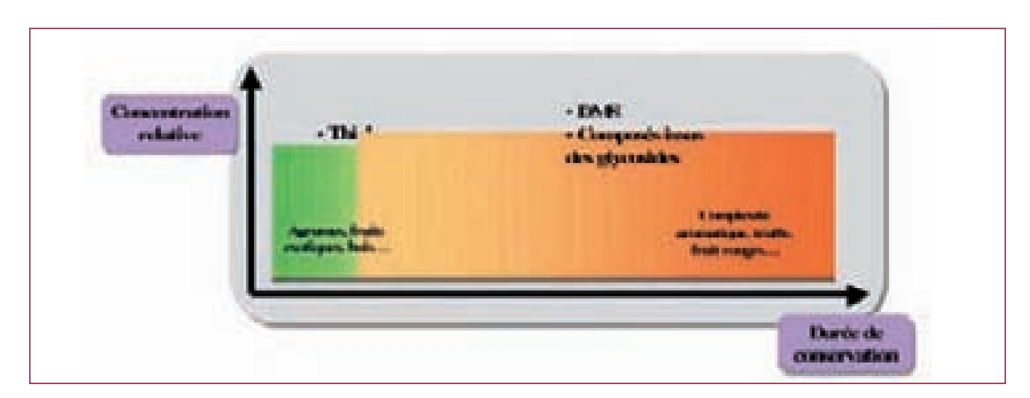


Figure 7 : Schéma simplifié de la formation des composés d'arôme issus des précurseurs glycosidiques, du PDMS et des précurseurs cystéinylés au cours de la conservation du vin.

Le DMS et les composés d'arômes issus des glycosides appartiennent à l'arôme de vieillissement, ainsi c'est dans une optique d'élaboration de vins de garde que ces deux potentiels seront optimisés, contrairement aux thiols qui compte-tenu de leur réactivité et de leur oxydabilité disparaissent assez rapidement du vin.

A ce jour, le potentiel en DMS du vin est une donnée que l'on peut déterminer mais que l'on ne peut pas totalement contrôler. Néanmoins, la mesure du PDMS du vin nous permet d'estimer de façon correcte la quantité de DMS susceptible d'être libérée au cours de sa conservation. La maîtrise de l'impact de la vinification sur le PDMS permettra par la suite de pouvoir déterminer des itinéraires techniques adaptées. Le PDMS du raisin est très variable, particulièrement au cours de la maturation du raisin. Ainsi, la recherche de concentrations en DMS élevées dans le vin impliquera une récolte tardive et inversement.

L'optimisation et la préservation du potentiel glycosidique doivent toujours être favorisées pour l'élaboration de vin de garde car il participe pleinement à la complexité et à l'intensité aromatique du vin (Ségurel *et al.*, 2004). Hormis les procédés favorisant l'extraction des glycosides, cette approche est essentiellement réalisable à la vigne. En effet, les étapes de la vinification affectent peu ce potentiel, retrouvé en grande partie dans le vin. En revanche, les différences observées entre parcelles montrent que certains sites produisent des raisins de plus grand potentiel et pourront être retenus pour ces qualités. Par ailleurs, l'augmentation de l'éclairement des grappes est parfois favorable à l'accumulation des glycosides, montrant l'intérêt de l'effeuillage. Enfin, les teneurs en glycosides augmentent le plus souvent au cours de la maturation du raisin, mais l'optimum est très variable et doit être raisonné. Pour cela des outils analytiques rapides du potentiel glycosidiques ont été développés et sont en cours de validation sur certains cépages (Chardonnay, Gewürtztraniner, Riesling, Melon B) et de développement pour d'autres (Grenache, Syrah), afin de constituer un outil d'aide à la décision pour ce paramètre.

Le fruité des notes odorantes apportées par les thiols variétaux contribue particulièrement à l'arôme de vins jeunes et n'ont à ce jour que peu d'intérêt pour les vins de garde. Effectivement, l'expérience montre qu'au fil de la conservation du vin (après une à deux années) la perception des notes odorantes associées à ces thiols diminue. La sensibilité à l'oxydation de ces composés en est très probablement la principale cause. Certains procédés sont suggérés pour favoriser la formation et la conservation des thiols, mais la gestion à la vigne du potentiel en thiols apparaît pour l'instant prématurée. En effet, la fermentation constitue une étape fondamentale dans la formation des thiols, où la levure ne transforme qu'une infime partie du potentiel et cela avec des rendements très variables. Cette étape constitue un levier majeur que nous ne maîtrisons pas complètement. Les efforts doivent donc être poursuivis pour étudier les mécanismes mis en jeu et l'influence de la nature du moût, avant de pouvoir raisonner globalement le potentiel en thiols variétaux.

CONCLUSION

Cette étude montre qu'à l'image des baies de Petit Manseng et de Gros Manseng le potentiel aromatique du raisin peut être riche et varié, regroupant plusieurs familles de précurseurs d'arôme se différenciant par leur structure, leur origine et les mécanismes de genèse des composés d'arômes. Ainsi, leur accumulation dans le raisin ne répond pas des mêmes paramètres et leur évolution est souvent indépendante. Leur optimisation apparaît donc plus accessible dans une optique de segmentation produit où l'on privilégiera un potentiel en particulier.

Dans cette démarche, l'étude de ces trois composantes variétales de l'arôme (glycosides, précurseurs cystéinylés et PDMS), montre les possibilités dont disposent le viticulteur et le vinificateur pour orienter ce potentiel. Toutefois, la maîtrise de la transmission et de la révélation du potentiel n'est que partielle et l'accumulation des connaissances doit se poursuivre. Pour cela nous disposons déjà d'outils analytiques capables de soutenir une recherche appliquée qui permet d'une part d'affiner progressivement des itinéraires techniques en adéquation avec un produit et d'autre part d'aborder des problèmes plus fondamentaux tels que la révélation de thiols et la transmission du PDMS. En parallèle des techniques d'analyse haut débit sont développées pour constituer des outils de terrain d'aide à la décision.

BIBLIOGRAPHIE

Anocibar Beloqui A., Kotseridis Y. et Bertrand A. (1996). Détermination de la teneur en sulfure de diméthyle dans quelques vins rouges. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin.* 30, 167-170.

Cordonnier R. et Bayonove C. (1981). Etude de la phase préfermentaire de la vinification : extraction et formation de certains composés de l'arôme ; cas des terpènols, des aldéhydes et des alcools en C_6. *Connaissance de la Vigne et du Vin.* 4, 268-286.

De Mora S. J., Knowles S. J., Eschenbruch R. et Torrey W. J. (1987). Dimethyl sulphide in some Australian red wines. *Vitis.* 26, 79-84.

De Mora S. J., Eschenbruch R., Knowles S. J. et Spedding D. J. (1986). The formation of dimethyl sulphide during fermentation using a wine yeast. *Food Microbiology.* 3, 27-32.

Francis I. L., Sefton M. A. et Williams P. J. (1992). Sensory descriptive analysis of the aroma of hydrolysed precursor fractions from Sémillon, Chardonnay and Sauvignon blanc grape juices. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 59, 511-520.

Francis I. L., Tate M. E. et Williams P. J. (1996). The effect of hydrolysis conditions on the aroma released from Sémillon grape glycosides. *Australian Journal of Grape and Wine Research.* 2, 70-76.

Fretz C., Känel S., Luisier J. L. et Amado R. (2005). Analysis of volatile components of Petite Arvine wine. *European Food Research and Technology.* 221, 3-4.

Güth H. (1997a). Identification of caracter impact odorants of different white wine varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 45, 3022-3026.

Huyng-Ba T., Matthey-Doret W., Fay L. B. et Rhlid R. B. (2003). Generation of thiols by biotransformation of cystein-aldehyde conjugates with baker yeast. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 51, 3629-3635.

Kotseridis Y. (1999). Etude de l'arôme des vins de Merlot et Cabernet Sauvignon de la région bordelaise. *Thèse de Doctorat, Université Victor Segalen Bordeaux II.* 268 pages.

Lopez R., Orti N., Perez-Trujillo J. P., Cacho J. et Feirreira V. (2003). Impact odorants of different young white wines from Canary Islands. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 51, 3419-3425.

Murat M. L., Masneuf I., Darriet P., Lavigne V., Tominaga T. et Dubourdieu D. (2001a). Effect of *Saccharomyces cerevisiae* yeast strains on the liberation of volatile thiols in Sauvignon blanc wine. *American Journal of Enology and Viticulture.* 52, 136-139.

Schneider R. (2001). Contribution à la connaissance de l'arôme et du potentiel aromatique du Melon B. *(Vitis vinifera L.)* et des vins de Muscadet. *Thèse de doctorat, Université de Montpellier II.* 222 pages.

Schneider R., Kotseridis Y., Ray J. L., Augier C. et Baumes R. (2003). Quantitative determination of sulfur-containing wine odorants at sub parts per billion levels. 2. Development and application of a stable isotope dilution assay. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 51, 3243-3248.

Ségurel M., Razungles A., Riou C., Salles M. et Baumes R. (2004). Contribution of dimethyl sulphide to the aroma of Syrah and Grenache noir wines and estimation of its potential in grapes of these varieties. Journal of *Agricultural and Food Chemistry.* 52, 7084-7093.

Ségurel M., Razungles A., Riou C., Trigueiro M. G. L. et Baumes R. (2005). Ability of possible precursors to release DMS during wine aging and in the conditions of heat alkaline treatment. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 53, 2637-2645.

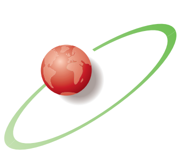
Tominaga T., Baltenweck-Guyot R., Peyrot des Gachons C. et Dubourdieu D. (2000). Contribution of volatile thiols to the aromas of white wines made from several *Vitis vinifera* Grape Varieties. *American Journal of Enology and Viticulture.* 51, 178-181.

Tominaga T., Darriet P. et Dubourdieu D. (1996). Identification de l'acétate de 3-mercaptohexanol, composé à forte odeur de buis, intervenant, dans l'arôme des vins de Sauvignon. *Vitis.* 35, 207-210.

Tominaga T., Furrer A., Henry R. et Dubourdieu D. (1998). Identification of new volatile thiols in the aroma of *Vitis vinifera* L. var. Sauvignon blanc wines. *Flavour and Fragrance Journal.* 13, 159-152.

Schreier P., Drawert F. et Junker A. (1974). Gaschromatographischmassen-spektrometrische undersuchung flüchtiger inhaltsstoffe des weines. II. Thioäther-verbindungen des weinaromas. *Zeitschrift für Lebensmittel - Untersuchung und Forschung.* 154, 279-284.

Ségurel M. (2005). Contribution des précurseurs glycosidiques et du sulfure de diméthyle des baies de *Vitis vinifera* L. cv. Grenache noir et Syrah à l'arôme des vins de la vallée du Rhône. *Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure D'Agronomie de Montpellier.*



KATANA®

Herbicide vigne de PRÉ et post-levée





La maîtrise du désherbage

Le contrôle durable des mauvaises herbes (5 à 6 mois)

Un produit qui s'intègre facilement dans toutes les stratégies d'entretien du sol

Un profil toxicologique et environnemental adapté aux exigences actuelles

Faible dose : **200 g/ha**



PRODUITS POUR LES PROFESSIONNELS : RESPECTER LES CONDITIONS D'EMPLOI

Les caroténoides dans les vins : un nouveau potentiel ?

Cas des vins de Porto

Paula GUEDES de PINHO
REQUIMTE/Faculté de Pharmacie - Université de Porto - Rua Anibal Cunha, 164 - 4050-047, PORTO, Portugal

Résumé

Les caroténoïdes et les composés dérivés de la chlorophylle ont été étudiés dans les vins de Porto, par analyse HPLC-DAD et HPLC-DAD-SM (ESP+). Dans les vins de Porto, 19 composés présentant des structures apparentées aux caroténoïdes ou à la chlorophylle ont été mis en évidence dont 8 restent encore non-identifiés. Les vins jeunes présentent une teneur totale en ces composés plus élevée que les vieux vins. La lutéine et le β-carotène sont les caroténoïdes majeurs.
Une étude de vieillissement forcé a montré que la lutéine était plus sensible à la température que le β-carotène. De plus, les vins vieux présentent des rapports β-carotène/lutéine plus hauts que ceux de Porto jeunes. Les taux de dégradation des dérivés de la chlorophylle se sont avérés plus importants que ceux du carotène et de la lutéine.

INTRODUCTION

Dans les raisins, la présence de caroténoïdes est bien connue. Le β-carotène et quelques xanthophylles (néoxanthine, flavoxanthine et lutéine) sont abondants avant véraison, et leur teneur diminue fortement ensuite [1, 2]. Trois autres xanthophylles (violaxanthine, lutéoxanthine et 5,6-époxylutéine) apparaissent après véraison. La variété, les conditions climatiques, la région viticole, l'état hydrique de la plante, l'exposition au soleil et le stade de maturité sont autant de facteurs qui influencent les concentrations en caroténoïdes des raisins [3-5].

Il est généralement admis que les norisoprénoïdes pourraient être générés directement par dégradation de caroténoïdes comme le β-carotène, la lutéine, la néoxanthine et la violaxanthine [6-8] mais aussi par hydrolyse de formes glycosylées [9]. Les caroténoïdes et les intermédiaires non aromatiques sont connus pour être des précurseurs de composés d'arôme norisoprénoïdiques comme les α et β-ionone ou la β-damascénone, responsables de la typicité aromatique de certains cépages [6, 10, 11]. Une étude récente a montré que les caroténoïdes étaient présents en faible quantité dans les vins de Porto [12]. Cette présence est importante puisque ces composés sont susceptibles, durant le vieillissement, d'être dégradés en composés d'arôme, les norisoprénoïdes qui peuvent contribuer à l'arôme des vins. Quelques norisoprénoïdes ont d'ores déjà été identifiés dans les vins de Porto : la 2,2,6-triméthylcyclohexanone (TCH), des isomères des ionones, la β-damascénone et le 1,1,6-triméthyl-1,2-dihydronaphtalène (TDN) [11], qui contribuent tous à l'arôme du vin. L'hypothèse selon laquelle ces composés proviendraient de la dégradation i*n situ* des caroténoides en norisoprénoïdes est confortée par le comportement après récolte des caroténoïdes dans d'autres aliments. Un grand nombre de mécanismes réactionnels de dégradation, dans les aliments, des caroténoïdes en norisoprénoïdes à 9 ou 13 atomes de carbone sont rapportés dans la littérature. Ceux-ci incluent des processus enzymatiques, d'auto oxydation et de décomposition thermique [7, 13].

Dans notre étude, quelques caroténoïdes et dérivés de la chlorophylle ont pu être identifiés par HPLC-DAD-SM (ESP+) dans les vins de Porto. Ces composés étant donc présents dans les vins de Porto, l'on peut s'attendre à leur dégradation au cours du vieillissement. C'est pourquoi, les profils en caroténoïdes et dérivés de la chlorophylle ont été déterminés dans les vins de différentes vendanges et un protocole de vieillissement accéléré (impliquant température et oxygène) a été mis au point afin d'évaluer les taux de dégradation des caroténoïdes et dérivés de la chlorophylle majeurs des vins.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Echantillons pour l'identification

Deux vins de Portos de la vendange 2002 (Vin 1, du cépage Tinta Roriz provenant du producteur Ramos Pinto et Vin II, du cépage Touriga Nacional produit par Barros) ont été utilisés pour l'identification des composés. Ces vins ont été choisis parmi les 79 suivants pour leurs fortes teneurs en caroténoïdes.

Echantillons pour la quantification

79 Portos de 5 cépages différents (Touriga Nacional, Touriga Francesa, Tinta Roriz, Tinto Cão et Tinta Barroca) produits dans deux sous-régions du Douro, le Cima Corgo et le Douro Superior, ayant entre 1 et 20 ans, et issus de différents procédés de vinification ont été analysés pour quantifiés les différents caroténoïdes et dérivés de la chlorophylle.

Conditions analytiques

L'identification a été réalisée par HPLC-DAD-MS selon la méthode publiée par Mendes-Pinto *et al.*, 2005 [14]. La quantification a été réalisée, après extraction des caroténoïdes, par HPLC sur phase inverse et détection par barrette de diodes selon la méthode proposée par Guedes de Pinho *et al.*, 2001 [15].

Protocole de vieillissement accéléré

0,9 L de vin de Porto, âgé de 1 an, contenant 73 µg/L de lutéine et 190 µg/L de β-carotène, à pH 3,7 est divisé en deux lots. Le premier est saturé en oxygène à 4,8 mg/L par agitation magnétique en contact avec l'air. Chaque lot est ensuite de nouveau divisé en trois volumes égaux qui sont soumis à différentes températures de stockage (20, 40 et 60 °C), à l'abri de la lumière, durant 160 heures. Ils sont ensuite analysés. Toutes les neuf heures un échantillon de vins des différents lots est également prélevé pour analyse. 18 échantillons de vins soumis à l'oxydation et 18 de vins conservés sans ajout d'oxygène sont ainsi analysés.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Profils des caroténoïdes et dérivés de la chlorophylle des vins : 8 composés de structure caroténoïdique ont été détectés (Tableau 1).

Peak	Compound	K′	λmax (nm)	2ND derivative	% (III/II)	Identification	m/z	(m/z H2O)	Wine I	Wine II
1	unknown	1.5549	430	435	0		nd		x	x
2	neochrome/a	1.8811	400 ; 422 ; 450	450	93	standard, UV[a]				x
3	neoxanthin	2.0292	415 ; 438 ; 466	466	69	standard, UV[a]				x
4	neochrome/b	2.0528	400 ; 422 ; 450	450	92	standard, UV[a]				x
5	violaxanthin	2.2032	418 ; 441 ; 471	471	90	standard, UV[a]				x
6	unknown (chlorophyll-derived compound)	1.6968	436 ; 526 ; 652	435		UV[a]	635		x	
7	pheophorbide b	2.1463	436 ; 526 ; 652	435		UV[b] ; MSb	607		x	x
8	(all -E)-lutein	5.8973	(422) ; 447 ; 476	476	53	standard[e]		551	x	x
9	unknown (lutein-like structure)[g]	6.0848	(421) ; 444 ; 472	474	52	UV[a]	nd		x	x
10	unknown (lutein-like structure)[h]	6.2400	(420) ; 443 ; 472	474	50	UV[a]	nd		x	x
11	(13/13′Z)-lutein	6.4242	333 ; (420) ; 442 ; 468	468	22	UV[a]		551	x	x
12	unknown (carotenoid-like structure)	9.4453	(423) ; 448 ; 476	478	52	UV[a]	554	536	x	x
13	unknown (carotenoid-like structure)	10.202	(407) ; 427 ; 454	456	19	UV[a]	546		x	x
14	pheophytin b	13.410	436 ; 528 ; 600 ; 654			UV[c] ; MS[d]	885		x	
15	pheophytin b-like compound	13.723	436 ; 528 ; 600 ; 654			UV[a]	844			x
16	pheophytin a	14.845	410 ; 506 ; 536 ; 666			UV[c] ; MS[d]	871		x	x
17	pheophytin a-like compound	15.137	410 ; 506 ; 536 ; 666			UV[a]	nd		x	x
18	(all -E)-β-carotene	16.0343	(428) ; 454 ; 482	486	20	standard[e]	537		x	x
19	(13/13′Z)-b-carotene	16.254	338 ; 449 ; 478	480	7	UV[a]	537		x	x
IS	β-apo-8′-carotenal	8.9231	460	460	0	standard[f]				

Tableau 1. Caroténoïdes et dérivés de la chlorophylle identifiés en HPLC-DAD-MS (EPS+) dans les vins de Porto.

a Identificaton by comparison with UV spectrum of the "parent" compound
b Identificaton by UV spectrum is consistent with Canjura F.L. And Schwartz S.J., 1991
c Identificaton by comparison with UV spectrum of the "parent" standard obtained by acidification of the respective chlorophyll
d Identification by LC-MS is consistent with van Breemen *et al.*, 1991.
e Pure standard (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO)
f Pure Standard (Fluka, Switzerland).
g (9Z)-lutein
h (9'Z)-lutein

Il est intéressant de noter que la plus grande partie du profil en compose (caroténoïdes et composés dérivés de la chlorophylle (Car-Chl-DC)) est conservé durant le procédé de vinification (Figure 1). Le mutage du moût, au bout de trois jours de fermentation, par addition d'alcool jusqu'à un titre de 20 % en éthanol, ne change par de manière substantielle la composition qualitative en caroténoïdes et dérivés de la chlorophylle. La grande différence réside dans les teneurs de ces composés, entre le raisin et le vin. En effet les teneurs en caroténoïdes totaux retrouvés dans les raisins sont de l'ordre de 1 à 2 mg/L, alors que les quantités retrouvées dans les vins de Porto sont beaucoup plus basses.

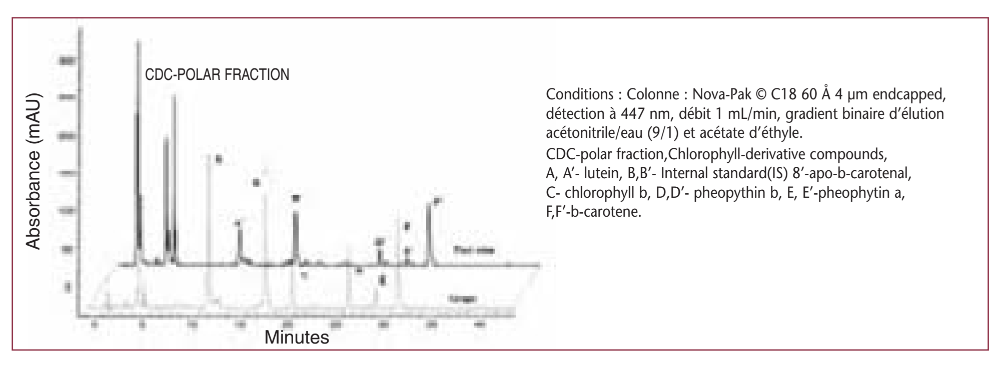


Figure 1 : Comparaison des profils HPLC des caroténoïdes, chlorophylle et dérivés isolés de raisin et de vins de Porto.

Analyse quantitative des caroténoïdes et des dérivés de la chlorophylle

Les teneurs totales en caroténoïdes retrouvés vont de non-détecté à 720 µg/L dans les vins jeunes, et sont généralement plus fortes que celles des vins vieux. Parmi les 70 portos analysés, les plus fortes concentrations de lutéine et de β-carotène trouvées sont respectivement de 106 µg/L et 358 µg/L. Cependant une grande variabilité dans la composition en caroténoïdes des vins selon leur âge a pu être observée. Cela peut être relié à de nombreux facteurs, comme le type et l'origine des cépages, le degré d'éclairement des grappes, le stade de maturité, le procédé de vinification et les conditions climatiques, qui affectent le profil en caroténoïdes des raisins, et de manière consécutive, celui des vins.

Le fait que des caroténoïdes et des dérivés de la chlorophylle soient présents dans les vins de Porto [12], alors qu'on ne les rencontre pas dans les autres types de vins, blancs ou rouges peut être expliqué par le type de vinification. Le Porto est un vin doux naturel produit par un arrêt volontaire de la fermentation par ajout d'alcool vinique. Comme la majeure partie de la matrice d'un porto est donc composée de moût, la plus grande partie des sucres, acides aminés, polyphénols et précurseurs d'arôme restent intacts dans les vins. Il en est de même pour les caroténoïdes et les dérivés de la chlorophylle. Par ailleurs, l'addition d'alcool (jusqu'à un degré de 20 %) facilite la solubilisation de ces molécules. Bien que les teneurs de ces composés dans les vins de Porto soient très bas, il faut garder à l'esprit que ces vins subissent un vieillissement long, souvent supérieur à 4 ans, et ce à la fois pour les vins vieillis en bouteilles (« vintage ») ou ceux vieillis en fûts « tawny ». Ainsi, un grand nombre de réactions chimiques peuvent se produire durant cette période, impliquant des phénomènes de dégradation de composés existants et de formation de nouveaux composés.

Certains composés volatils sont directement ou indirectement issus des caroténoïdes [6, 16, 17], ces composés peuvent donc se trouver dans les vins de Porto. De plus, les portos jeunes s'avèrent plus riches en caroténoïdes et dérivés de la chlorophylle que les vieux vins, dans lesquels ces composés sont pratiquement inexistants. Toutes ces observations confortent l'hypothèse que durant le vieillissement les caroténoïdes et dérivés de la chlorophylle peuvent être transformées ou dégradées en composés volatils, qui contribuent à l'arôme des vins.

L'analyse des caroténoïdes et des dérivés de la chlorophylle dans les 79 vins âgés de 1 (57 vins de 2007) à plus de 10 ans (22 vins) montre que les vins jeunes présentent une teneur totale de dérivés de la chlorophylle et de caroténoïdes comprise entre 28 et 720 µg/L. De manière inverse, dans les vieux portos, les concentrations mesurées sont comprises entre 24 µg/L et des traces. Il faut également noter que 24,5 % des vins jeunes ne présentent ni carotène ni lutéine, mais seulement des dérivés de la chlorophylle.

Dans un article de revue bibliographique sur la dégradation des caroténoïdes, Winterhalter et Rouseff [18] ont rapporté la formation in vitro de norisoprénoïdes par des réactions chimiques, photochimiques ou d'oxydations couplées. D'autres publications montrent que la présence de certains norisoprénoïdes comme la β-ionone et la 2,2,6-triméthylciclohexanone (TCH) est associée responsable de l'arôme typique de certains vins [11], composés qui sont également associés à la dégradation chimique du β-carotène [7]. Un autre composé présentant un fort impact sensoriel, la β-damascénone, à l'arôme de compote de pomme, pourrait selon toute vraisemblance, également provenir de la néoxanthine [10, 19].

Comme rappelé auparavant, certains caroténoïdes sont présents dans les vins de Porto, on peut donc s'attendre à ce qu'ils se dégradent Durant le vieillissement. Pour mettre en évidence ce mécanisme, un profil moyen de caroténoïdes de vins de Portos a été déterminé à partir de différentes vendanges, et un protocole de vieillissement accéléré impliquant température et oxygène a été mis en œuvre, dans le but d'évaluer la dégradation des caroténoïdes et dérivés de la chlorophylle majeurs du vin.

L'objectif principal de cette expérimentation est de suivre le taux de dégradation de ces molécules dans des conditions de laboratoire. Les résultats indiquent que la lutéine se dégrade plus rapidement que le carotène, et indépendamment de la température et de la teneur en oxygène (A : témoin, B : 4,8 mg O2/L). La figure 2 montre que la lutéine est plus sensible à la température qu'à l'oxygène puisqu'à 60 °C, on observe une perte de 95 % après 160 h dans les conditions A et B. Le β-carotène se dégrade dans le temps, avec un comportement similaire quelles que soient les conditions expérimentales. Il semble que des conditions acides, associées à des températures élevées, soient plus favorables à la dégradation de la lutéine qu'à celle du carotène, ce qui pourrait être expliqué par la présence de groupements hydroxyles dans la lutéine. Les réactions de dégradation suivent une cinétique d'ordre zéro. Ces résultats confortent le plus fort rapport carotène/lutéine observé dans les vins vieux en comparaison aux vins jeunes (vins de 2002 : 1.3 ; vins de 1999 : 3.8).

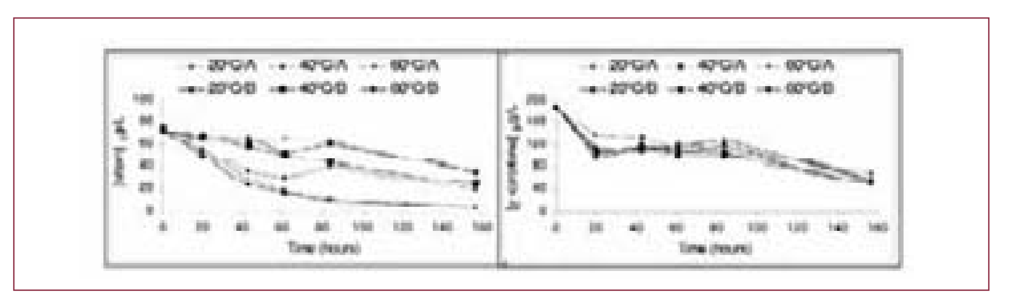


Figure 2 : Lutein and β-carotene degradation during the forced aged protocol, using different storage temperatures (20, 40 and 60 ºC) and different dissolved oxygen levels: A- control; B- 4.8 mg/L. Values of lutein and β-carotene are expressed in µg/L of wine.

La même étude a été menée avec les dérivés de la chlorophylle. A cette fin, la dégradation de la phéophytine b et des dérivés de la fraction polaire ont été suivis pendant le temps (14). Les résultats ne sont pas montrés ici, mais il est intéressant de noter que ces composés sont dégradés plus rapidement à 60 °C que la lutéine et le b-carotène. Après 160 h, ils ont pratiquement disparu. Ces résultats confortent ceux observés dans les vins de Porto, dans lesquels on trouve encore de faibles concentrations de β-carotène, mais qui ne présentent plus de dérivés de la chlorophylle. De manière corrélative, ces vins ont une complexité aromatique que n'ont pas les vins jeunes, et qui peut être reliée à un contenu en volatils plus important.

La dégradation des pigments chlorophylliens implique de nombreuses réactions. Il a été démontré que ces pigments pouvaient être clivés en phéophytine, mais aussi en pyrophéophytines [20]. Un prochain travail s'attachera à déterminer si ces composés peuvent être dégradés en molécules d'intérêt organoleptique dans les vins.

CONCLUSION

Les résultats obtenus dans cette étude ont permis l'identification de nouvelles molécules dans les vins de Portos. Parmi elles, 19 présentent des motifs structuraux apparentés aux caroténoïdes ou à des dérivés de la chlorophylle, tandis que 8 restent encore non identifiés.

La plupart des vins jeunes présentent des teneurs totales en caroténoïdes et dérivés de la chlorophylle plus forts que les vins vieux, avec notamment la lutéine et le β-carotène comme composés majeurs. Le vieillissement accéléré a montré que la lutéine était plus sensible à la température que le carotène, et que le teneur de l'oxygène dissous ne semble pas influencer la dégradation des caroténoïdes dans le vin. Par ailleurs. Les vins vieux présentent des rapports β-carotène/lutéine plus forts que les vins jeunes. Enfin les taux de dégradation des dérivés de la chlorophylle sont supérieurs à ceux du carotène et de la lutéine.

Ces données suggèrent que lutéine et β-carotène puissent contribuer à l'arôme des vins de Porto, puisqu'ils peuvent se dégrader en plus petites molécules comme les norisoprénoïdes.
Les produits de dégradation des dérivés de la chlorophylle ne sont pas connus pour l'instant, et encore moins leur impact sensoriel. Cependant, si l'on considère leur présence dans les vins et leur rapide dégradation, cette éventualité doit être étudiée. Les études futures s'attacheront également à démontrer la relation l'évolution de caroténoïdes et la formation des norisoprénoïdes au cours du vieillissement des vins de Porto.

BIBLIOGRAPHIE

(1) Razungles, A.; Bayonove, C.; Cordonnier, R.; Baumes, R. Etude des caroténoides du raisin à maturité. *Vitis*, 987, 26, 183-191.

(2) Razungles, A.; Babic, I.; Sapis, J.; Bayonove, C. Particular behavior of epoxy xanthophylls during veraison and maturation of grape. *J. Agric. Food Chem.* 1996, 44, 3821-3825.

(3) Marais, J.; van Wyk, C.; Rapp, A. Carotenoid levels in maturing grapes as affected by climatic regions, sunlight and shade. S. Afr. *J. Enol. Vitic.* 1991, 12, Nº 2, 64-69.

(4) Oliveira C., Silva Ferreira A. C., Mendes Pinto M. M., Hogg T., Alves F., Guedes de Pinho P. Carotenoid compounds found in grapes and their relationship to plant water status. *J. of Agric. Food Chem.*, 2003, 51, 20, 5967-5971.

(5) Oliveira C., Silva Ferreira A. C., Costa P., Guerra J., Guedes de Pinho P. Effect of some viticultural parameters on the grape carotenoid profile. *J. of Agric. Food Chem,* 2004, 52, (13), 4178-84.

(6) Sefton M. A, Skouroumounis, G. K.; Massy-Westropp R. A, Williams P. A Norisoprenoids in Vitis vinifera White wine grapes and the identification of a precursor of damascenone in these fruit. *Aust. J. Chem.*, 1989, 42, 2071-84.

(7) Kanasawud, P.; Crouzet, J. C. Mechanism of formation of volatile compounds by thermal degradation of carotenoids in aqueous medium. 1. β-carotene degradation. *J. Agric. Food Chem.* 1990, 38, 237-243.

(8) Winterhalter. R. Teranishi, G. Takeoka, M. Guntert (Eds.), *Flavour Precursors-Thermal and Enzymatic Conversion*, ACS series, 1993, Vol. 490, P.98.

(9) Gunata, Y. Z.; Bayonove, C. L.; Baumes, R. L.; Cordonnier, R. E. The aroma of grapes. I. Extraction and determination of free and glycosodically bound fraction of some grape aroma components. *J. Chromatogr.* 1985, 331, 83-90.

(10) Skouroumounis, G. K.; Massy-Westropp, R. A.; Sefton, M. A.; Williams, Precursors of damascenone in fruit juices. *Tetrahedron Lett.* 1992, 33, 3533-3536.

(11) Freitas V., Ramalho P., Azevedo Z, Macedo A. Identification of some volatile descriptors of the rock-rose like aroma of fortified red wines from Douro Demarcated Region. *J. Agric. Food Chem.*, 1999, 47, 4327-4331.

(12) Guedes de Pinho P., Silva Ferreira A.C., Mendes Pinto M., Benitez J.G. and Hogg T. A. Determination of carotenoid profile in grapes, must and fortified wines from Douro varieties of *Vitis vinifera. J. Agric. Food Chem.*, 2001, 49, 5484-5488.

(13) Fleischmann P., Watanabe N., Winterhalter P. Enzymatic carotenoid cleavage in star fruit *(Averrhoa carambola). Phytochemistry*, 2003, 63, (2), 131-137.

(14) Mendes Pinto M. M., Silva Ferreira A. C., Caris-Veyrot C. Guedes de Pinho P. Carotenoid, chrorophyll and chlorophyll-derived compounds in grapes and port wines. *J. Agric. Food Chem.*, 2005, 53 (26), 10034 -10041

(15) Mendes Pinto M.M., Silva Ferreira A.C., Oliveira M.B.P.P., Guedes de Pinho P. Evaluation of major carotenoids in grapes by liquid chromatography with reversed and normal phase - a qualitative analysis. *J. Agric. Food Chem.*, 2004, 52, 3182-3188.

(16) Britton G. UV/Visible spectroscopy. In: G. Britton, J. Liaasen-Jensen and H. Pfander (Eds.), Carotenoids, Vol 1B: Spectroscopy, Chapter 2, 13-62, © Birkäuser Verlag, Basel, Switzerland, 1995. (ISBN 3-7643-2909-2 ; 0-8176-2902-2).

(17) Ravichandran R. Carotenoid composition, distribution and degradation to flavor volatiles during black tea manufacture and the effect of carotenoid supplementation on tea quality and aroma. *Food chemistry*, 2002, 78, 23-28.

(18) Winterhalter P., Rouseff R. Carotenoid derived aroma compounds. ACS Symposium 802 publication. 2000, 1-19.

(19) Bezman Y., Bilkis I., Winterhalter P., Fleischmann P., Russel L. R., Baldermann S., Naim M. *J. Agric. Food Chem.*, 2005, 53, 9199-9206.

(20) Schwartz S. J., von Elbe J. H. Kinetics of chlorophyll degradation to pyropheophytin in vegetables. *J. Food Sci.*, 1983, 48, 1303-1306.

